



TUGAS AKHIR – RE 141581

**PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
(IPAL) KOMUNAL AIR LIMBAH BATIK DARI INDUSTRI
KECIL MENENGAH DI KOTA PEKALONGAN**

VELDA RIFKA ALMIRA
03211440000033

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR – RE 141581

**PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
(IPAL) KOMUNAL AIR LIMBAH BATIK DARI INDUSTRI
KECIL MENENGAH (IKM) DI KOTA PEKALONGAN**

VELDA RIFKA ALMIRA
03211440000033

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT – RE 141581

***DESIGN OF DECENTRALIZED WASTEWATER TREATMENT
PLANT FOR BATIK WASTEWATER OF SMALL INDUSTRIES IN
PEKALONGAN***

VELDA RIFKA ALMIRA
03211440000033

Supervisor
Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc.

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH KOMUNAL AIR LIMBAH BATIK DARI INDUSTRI KECIL MENENGAH DI KOTA PEKALONGAN

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memenuhi Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
VELDA RIFKA ALMIRA
NRP. 03211440000033

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir.



Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc.
NIP. 19590811 198701 1 001



PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) KOMUNAL AIR LIMBAH BATIK DARI INDUSTRI KECIL MENENGAH (IKM) DI KOTA PEKALONGAN

Nama Mahasiswa : Velda Rifka Almira
NRP : 03211440000033
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc.

ABSTRAK

Limbah batik dikenal sebagai limbah yang tidak ramah lingkungan, karena tingginya kandungan beberapa parameter seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD), fenol, dan logam berat. Apabila limbah batik dibuang ke lingkungan tanpa melalui pengelolaan terlebih dahulu, maka akan dapat merusak lingkungan. Seperti contoh yaitu menurunkan populasi biota dalam badan air yang digunakan sebagai titik pembuangan. Kota Pekalongan dikenal dengan nama “Kota Batik” karena mayoritas penduduknya memperoleh sumber mata pencaharian dengan mendirikan usaha batik (IKM). Namun terdapat cukup banyak sentra IKM (Industri Kecil Menengah) batik di Kota Pekalongan yang belum memiliki pengolahan untuk limbah batik yang dihasilkan. Di sisi lain, kepadatan kota Pekalongan menyebabkan sedikitnya lahan yang masih tersedia untuk mendirikan suatu bangunan, sedangkan limbah batik tersebut memerlukan pengolahan lebih lanjut. Maka dari itu, diperlukan sistem pengelolaan limbah batik secara komunal (yang dilengkapi dengan biaya dibutuhkan), agar pengelolaan bersifat efektif dan efisien. Opsi pengelolaan yang cocok dengan kondisi yang ada adalah pengolahan secara fisik-kimia lalu diikuti dengan biologis. Opsi ini diperkirakan sesuai dengan karakteristik limbah serta kondisi lahan, karena berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, proses fisik-kimia dengan cara koagulasi - flokulasi lalu diikuti dengan proses biologi dengan menggunakan *wetland* efektif dalam

menurunkan parameter pencemar yang ada. Selain itu opsi ini juga didukung oleh lahan yang tersedia pada lokasi perencanaan.

Pada perencanaan ini pengumpulan data terdiri dari data primer maupun sekunder diperoleh melalui survei lapangan, *sampling* maupun dari laporan. Data-data yang telah dikumpulkan diolah dan dibahas, selanjutnya dilakukan perencanaan IPAL komunal berupa penyusunan *Detail Engineering Design* (DED). Perhitungan DED dilakukan untuk sistem penyaluran air limbah (SPAL) dan instalasi pengolahan air limbah (IPAL), mencakup perhitungan dimensi dan aspek hidrolika. Berdasarkan perhitungan *Detail Engineering Design*, diperoleh hasil berupa dimensi untuk SPAL yaitu diameter pipa yang digunakan adalah Ø 110 mm dan 140 mm, sedangkan dimensi bangunan IPAL antara lain : *holding tank* sebesar (4,8 m x 4,8 m x 1,5 m); bak terjunan pengaduk cepat (0,97 m x 1 m x 0,5 m); bak lintasan pengaduk cepat (1 m x 1 m x 0,5 m); bak pembubuh koagulan (0,707 m x 0,707 m x 0,5 m); bak pengaduk lambat (4 m x 1,71 m x 0,8 m); sedimentasi 2 (11 m x 4,75 m x 0,82 m); *wetland* (12 m x 8 m x 2 m); dan *sludge drying bed* (1,94 m x 0,97 m x 1,1 m). RAB dari IPAL komunal yang telah didesain sendiri diperoleh sebesar Rp. 443.019.362,00.

Kata Kunci : DED, IPAL, IKM, komunal, limbah batik, SPAL

DESIGN OF DECENTRALIZED WASTEWATER TREATMENT PLANT FOR BATIK WASTEWATER OF SMALL INDUSTRIES IN PEKALONGAN

Name of Student : Velda Rifka Almira
NRP : 03211440000033
Study Programme : Environmental Engineering
Supervisor : Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc.

ABSTRACT

Batik wastewater is a type of industrial wastewater which often known and considered as “not environmentally friendly”, because of the high pollutant concentration contained in the wastewater, such as COD (Chemical Oxygen Demand), phenol, and heavy metals. If the untreated batik wastewater is disposed to the environment, it could cause harm to the environment. As example, lowering the biota population in the waterbody where the wastewater disposed to. Pekalongan city is famously known as “The City of Batik”, because the majority of people in Pekalongan earn their income by building small-scale batik industries. However, there are still a lot of batik small industries in Pekalongan which did not have their own wastewater treatment. On the other side, the population density in Pekalongan causing the small area available to built a plant, meanwhile the batik wastewater requires to be further treated. Therefore, a decentralized system for batik industries wastewater treatment (which equipped by the budgeted costs) is needed to make the treatment more efficient and effective. The treatment option that were expected to match the existing conditions are chemical treatment or physical treatment. Then it is proven that this option matched the characteristics of batik wastewater, and the conditions of land availability, because based on the laboratory experiment done the physico-chemical treatment by coagulation – flocculation followed by biological process (*wetland*) is effective in removing the existing pollutants. On the

other side, this option is also supported by the land availability on Pasirsari.

In this planning, the required data consisted of primary data and secondary data, which were obtained through field survey, sampling, and previous design. The data which had been collected later be processed and discussed, and then used as the reference in designing the decentralized wastewater treatment plant, where will be in form of detailed engineering design (DED). The DED calculation is done by designing the sewerage system and the treatment plant, that including the dimensional calculation and hydraulic aspects. Based on the calculation, the result of WWTP dimension is holding tank as big as (4,8 m x 4,8 m x 1,5 m); coagulation hydraulic waterfall as big as (0,97 m x 1 m x 0,5 m); hydraulic rapid mixer (1 m x 1 m x 0,5 m); dosing system (0,707 m x 0,707 m x 0,5 m); slow mixer (4 m x 1,71 m x 0,8 m); secondary settling (11 m x 4,75 m x 0,82 m); wetland (12 m x 8 m x 2 m); and sludge drying bed (1,94 m x 0,97 m x 1,1 m) The total cost for building the decentralized system of WWTP is Rp. 443.019.362,00.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan pada Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal Air Limbah Batik dari IKM di Kota Pekalongan”

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada,

1. Bapak Dr. Ir. Agus Slamet, dipl.SE., M.Sc., selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan.
2. Bapak Dr. Ir. Rahmat Boedisantoso, M.T., Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM, dan Bapak Alfian Purnomo, ST., MT. selaku dosen pengarah tugas akhir saya, terima kasih atas ilmu, saran serta bimbingannya.
3. Orang tua saya Bapak Jamaludin dan Ibu Shabiha beserta keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran tugas akhir ini.
4. Ibu Meri, Bapak Afan dan Bapak Hadi Sutrisno selaku laboran Teknik Lingkungan yang senantiasa membantu dan memfasilitasi ketika di laboratorium.
5. Teman-teman yang selalu memberikan semangat dan membantu saya dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gambaran Umum Industri Batik	5
2.1.1 Proses Produksi Batik	5
2.1.2 Karakteristik Limbah Industri Batik	6
2.2 Pengolahan Air Limbah	10
2.3 Alternatif Pengolahan Air Limbah	11
2.3.1 Bak Ekualisasi	12
2.3.2 Pengolahan Biologis.....	13
2.3.2.1 <i>Wetland</i>	13
2.3.3 Pengolahan Fisik dan Kimia.....	23
2.3.3.1 Sedimentasi (Pengolahan Secara Fisik)	23
2.3.3.2 Koagulasi-Flokulasi	28
2.3.3.3 Adsorpsi Karbon Aktif.....	33
2.3.4 Pengolahan Lumpur	36
2.4 Sistem Penyaluran Air Limbah.....	37
2.4.1 Sistem Penyaluran Terpisah	38
2.4.2 Sistem Penyaluran Tercampur.....	39
2.4.3 Sistem Kombinasi.....	40
2.5 Penelitian dan Perencanaan Terdahulu.....	40
BAB 3 GAMBARAN UMUM DAERAH PERENCANAAN	49
3.1 Gambaran Umum Perencanaan.....	49
3.2 Gambaran Umum Produksi Industri Batik	50
3.3 Gambaran Umum Daerah Perencanaan.....	50
BAB 4 METODE PERENCANAAN	53
4.1 Kerangka Perencanaan.....	53

4.2 Rangkaian Kegiatan Perencanaan	56
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN	63
5.1 Gambaran Umum IKM Batik	63
5.2 Debit dan Kualitas Air Limbah Batik	63
5.2.1 Perhitungan Debit Air Limbah	63
5.2.2 Penelitian Laboratorium untuk Pemilihan Unit	65
5.2.3 Kualitas dan Baku Mutu Air Limbah	70
5.3 Rencana Desain SPAL	72
5.4 Rencana Desain IPAL	77
5.5 Desain Unit IPAL	83
5.5.1 Desain <i>Holding Tank</i>	83
5.5.2 Desain Unit Koagulasi - Flokulasi	86
5.5.3 Desain Unit Sedimentasi 2	97
5.5.4 Desain Unit <i>Wetland</i>	106
5.5.2 Desain Unit <i>Sludge Drying Bed</i>	113
5.6 Profil Hidrolis	117
5.7 Penyusunan Prosedur Operasi dan Pemeliharaan	119
5.7.1 Petunjuk Pengoperasian IPAL	119
5.7.2 Petunjuk Pemeliharaan	122
5.8 Penyusunan Nilai BOQ dan RAB SPAL	124
5.8.1 BOQ Pengadaan Pipa SPAL	124
5.8.2 BOQ Penanaman Pipa	125
5.8.3 RAB Pengadaan dan Pekerjaan Pipa SPAL	133
5.9 Penyusunan Nilai BOQ dan RAB Bangunan Pelengkap	134
5.9.1 BOQ dan RAB <i>Manhole</i>	135
5.8.2 BOQ dan RAB Bak Kontrol	141
5.10 Penyusunan Nilai BOQ dan RAB IPAL	143
5.10.1 BOQ dan RAB <i>Holding Tank</i>	143
5.10.2 BOQ dan RAB Bak Pembunuh Koagulan	152
5.10.3 BOQ dan RAB Bak Terjunan	161
5.10.4 BOQ dan RAB Bak Lintasan Koagulasi	170
5.10.5 BOQ dan RAB Bak Flokulasi	178
5.10.6 BOQ dan RAB Bak Sedimentasi 2	188
5.10.7 BOQ dan RAB <i>Wetland</i>	197
5.10.8 BOQ dan RAB <i>Sludge Drying Bed</i>	206
BAB 6 KESIMPULAN	217
6.1 Kesimpulan	217
6.2 Saran	217
DAFTAR PUSTAKA	219

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Produksi Batik	6
Gambar 2.2 <i>Constructed Wetland</i> berdasar hidrolika	17
Gambar 2.3 Potongan Melintang Bak Sedimentasi <i>Circular</i>	23
Gambar 2.4 Skema Terjunan Hidrolis	32
Gambar 3.1 Alur Proses Pembuatan Batik	49
Gambar 3.2 Lokasi IKM Batik untuk Perencanaan IPAL	51
Gambar 3.3 Sketsa Denah Lokasi IKM Batik	52
Gambar 4.1 Tahapan Perencanaan	54
Gambar 5.1 Tempat Proses Produksi Batik IKM 3	63
Gambar 5.2 Uji Pengendapan Air Limbah	66
Gambar 5.3 Uji <i>Jar Test</i>	67
Gambar 5.4 Uji pH sampel	68
Gambar 5.5 Grafik Konsentrasi TSS dengan Pembubuhan Aluminium Sulfat	68
Gambar 5.6 Grafik %Removal TSS dengan Alum Sulfat	69
Gambar 5.7 Grafik Konsentrasi TSS Pembubuhan PAC	69
Gambar 5.8 Grafik %Removal TSS dengan PAC	70
Gambar 5.9 Jaringan SPAL IKM Batik	73
Gambar 5.10 Daftar Klasifikasi Diameter dan Harga Pipa	74
Gambar 5.11 Diagram Alir Alternatif 1	79
Gambar 5.12 Diagram Alir Alternatif 2	79
Gambar 5.13 Sketsa Pengadukan Cepat dengan Terjunan	87
Gambar 5.14 Hubungan antara panjang loncatan dan F_1	91
Gambar 5.15 <i>Hydraulic Jet Flocculator</i>	93
Gambar 5.16 Ruang Lumpur Sedimentasi 2	101
Gambar 5.17 Diagram Alir Konsentrasi Koagulasi-Flokulasi	105
Gambar 5.18 Diagram Alir Konsentrasi pada <i>Wetland</i>	113
Gambar 5.19 Diagram <i>Mass Balance</i> IPAL	116
Gambar 5.20 Diagram Alir Konsentrasi IPAL	116
Gambar 5.21 Galian Normal Pipa Penyalur Air Limbah	125
Gambar 5.22 Bentuk Galian Direncanakan	126

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Batik	9
Tabel 2.2 Kriteria Desain <i>Constructed Wetland</i>	14
Tabel 2.3 Karakterisitik Tipikal Media untuk SSF	15
Tabel 2.4 Penghilangan Polutan Yang Ada di CW	19
Tabel 2.5 Detail Mekanisme Removal Polutan di CW	22
Tabel 2.6 Kriteria Desain Sedimentasi	24
Tabel 2.7 Hasil Penelitian Penurunan COD dan Fenol dengan Karbon Aktif	42
Tabel 2.8 Macam Jenis Limbah Warna Yang Digunakan	42
Tabel 2.9 Hasil Penelitian dengan <i>Baffle Separation Tank</i> (Removal COD)	43
Tabel 2.10 Hasil Penelitian dengan <i>Baffle Separation Tank</i> (Removal Cd)	44
Tabel 2.11 Hasil Penelitian dengan <i>Baffle Separation Tank</i> (Removal Zn)	45
Tabel 2.12 Hasil Penelitian dengan <i>Baffle Separation Tank</i> (Removal Cu)	46
Tabel 2.13 Hasil Penelitian dengan <i>Baffle Separation Tank</i> (Removal Pb)	47
Tabel 4.1 Metode Analisis Parameter Air Limbah	57
Tabel 5.1 Perhitungan Debit Air Limbah IKM Batik	64
Tabel 5.2 Hasil Pengukuran Nilai TSS pada Sampel	67
Tabel 5.3 Hasil Uji Kualitas Air Limbah	71
Tabel 5.4 Baku Mutu Air Limbah	71
Tabel 5.5 Perhitungan Rencana Jaringan SPAL	76
Tabel 5.6 Jarak Manhole berdasar Diameter	77
Tabel 5.7 Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan <i>Wetland</i> dan Adsorpsi Karbon Aktif	81
Tabel 5.8 Elevasi Muka Air Masing-masing Unit	119
Tabel 5.9 BOQ Kebutuhan Pipa	125
Tabel 5.10 Standar Galian Departemen PU	126
Tabel 5.11 Dimensi Galian Pipa SPAL	126
Tabel 5.12 BOQ Galian dan Urugan Sepanjang Jalur Pipa	128
Tabel 5.13 Ketentuan dalam Pekerjaan Pipa	129
Tabel 5.14 BOQ Pembongkaran Beton	130
Tabel 5.15 BOQ Pekerja dan Bahan dalam Galian Tanah	130
Tabel 5.16 BOQ Pekerja dan Bahan dalam Urugan Pasir	130

Tabel 5.17 BOQ Pekerja dan Bahan dalam Pengurugan Tanah Kembali.....	131
Tabel 5.18 BOQ Pekerja dan Bahan dalam Pengangkutan Tanah dari Lubang Galian	131
Tabel 5.19 BOQ Pekerja dan Bahan dalam Pemasangan Pipa PVC Diameter 110 mm.....	132
Tabel 5.20 BOQ Pekerja dan Bahan dalam Pemasangan Pipa PVC Diameter 150 mm.....	132
Tabel 5.21 BOQ Pekerja dan Bahan dalam Pengembalian Kondisi seperti Semula	132
Tabel 5.22 RAB Pengadaan Pipa.....	133
Tabel 5.23 RAB Pekerjaan Pipa	133
Tabel 5.24 BOQ dan RAB Pembuatan <i>Manhole</i>	136
Tabel 5.25 BOQ dan RAB Pembuatan Bak Kontrol	142
Tabel 5.26 BOQ dan RAB <i>Holding Tank</i>	146
Tabel 5.27 BOQ dan RAB Bak Pembubuh Koagulan	154
Tabel 5.28 BOQ dan RAB Bak Terjunan	163
Tabel 5.29 BOQ dan RAB Bak Lintasan Koagulasi	172
Tabel 5.30 BOQ dan RAB Bak Flokulasi.....	180
Tabel 5.31 BOQ dan RAB Bak Pengendap 2	190
Tabel 5.32 BOQ dan RAB <i>Wetland</i>	199
Tabel 5.33 BOQ dan RAB <i>Sludge Drying Bed</i>	208
Tabel 5.34 Rekapitulasi Anggaran Biaya IPAL Komunal	215
Tabel 5.35 Perhitungan Kebutuhan Listrik	216

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	: Kuisioner Lapangan
Lampiran B	: Prosedur Analisis Kualitas Air
Lampiran C	: Hasil Uji Kualitas Air Limbah
Lampiran D	: <i>Detailed Engineering Design</i> IPAL Komunal
Lampiran E	: Penyesuaian Tarif Listrik
Lampiran F	: Pompa

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batik merupakan karya seni adi luhung bangsa Indonesia yang telah diwariskan secara turun temurun. Pada tanggal 2 Oktober 2009, UNESCO telah menobatkan batik sebagai karya budaya asli Indonesia. Data Kementerian Perindustrian menunjukkan kenaikan jumlah industri batik sejak 2011 hingga 2015 mencapai 14,7%. Dalam proses produksinya, industri ini menghasilkan limbah cair yang jumlahnya mencapai 80% dari seluruh jumlah air yang dipergunakan dalam proses pembatikan (Watini, 2009). Namun, peningkatan respon konsumen terhadap batik tidak dibarengi dengan pemahaman pengrajin batik mengenai dampak limbah terhadap lingkungan. Limbah produksi batik pada umumnya terdiri dari sisa mori, ceceran lilin, sisa air pewarnaan, sisa lilin dan air pelorodan.

Di Kota Pekalongan, yang terkenal dengan julukan “Kota Batik”, lebih dari Rp. 100 miliar perputaran uang berasal dari bisnis batik setiap tahunnya. Di sepanjang jalan raya hingga pelosok dan sudut Kota Pekalongan, nuansa batik begitu terasa. Aktivitas bisnis di kota ini sebagian besar juga digerakkan oleh bisnis yang bersinggungan dengan batik, mulai dari penyediaan bahan baku kain mori, malam, canting, kompor, hingga berdirinya sejumlah butik eksklusif yang secara khusus memajang pakaian bermotif batik. Industri besar dan industri kecil tumbuh subur di Kota Pekalongan, itu dikarenakan sebagian besar masyarakatnya berprofesi sebagai perajin batik.

Terdapat cukup banyak sentra IKM (Industri Kecil Menengah) batik di Kota Pekalongan, tepatnya di Kecamatan Pekalongan Barat, namun rata-rata IKM yang terdapat di Pekalongan Barat tidak memiliki instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Pembuangan limbah batik yang belum dikelola dengan baik di Kota Pekalongan khususnya di Kecamatan Pekalongan Barat mengakibatkan pencemaran sungai yang berdampak buruk terhadap kesehatan masyarakat, karena industri batik menghasilkan limbah cair organik dengan volume yang besar, warna yang pekat dan berbau menyengat serta memiliki suhu,

keasaman (pH), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS) yang tinggi.

Secara keseluruhan, sumber utama air limbah industri batik berasal dari proses yang berkaitan dengan proses pewarnaan. Selain kandungan zat warnanya tinggi, limbah industri batik juga mengandung bahan-bahan sintetik yang sukar larut atau sukar diuraikan. Setelah proses pewarnaan selesai, akan dihasilkan limbah cair yang berwarna keruh dan pekat. Biasanya warna air limbah tergantung pada zat warna yang digunakan. Limbah air yang berwarna-warni ini yang menyebabkan masalah terhadap lingkungan. Jika limbah hasil pewarnaan dibuang langsung tanpa diolah terlebih dahulu, maka aliran limbah tersebut akan melalui perairan di sekitar pemukiman. Dengan demikian mutu lingkungan tempat tinggal penduduk menjadi turun. Limbah tersebut dapat menaikkan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*). Jika hal ini melampaui ambang batas yang diperbolehkan, maka gejala yang paling mudah diketahui adalah matinya organisme perairan (Al-kdasi et al, 2004). Oleh karena itu perlu, dilakukan pengolahan limbah yang lebih lanjut agar limbah ini aman bagi lingkungan.

Pengolahan limbah cair batik dilakukan untuk menurunkan kadar pencemar sesuai baku mutu yang telah ditetapkan diantaranya: BOD, COD, TSS, maupun warna melalui proses pengolahan air limbah secara fisika, kimia dan biologi. Proses fisika dan kimia antara lain dengan sedimentasi, flokulasi, koagulasi, adsorpsi, ultrafiltrasi, oksidasi dengan ozon dan teknologi membran, sedangkan proses biologi menggunakan aktivitas mikroorganisme dan tanaman air.

Selain cara pengolahan air limbah batik di atas, proses penggabungan fisika-kimia-biologi yang meliputi: flokulasi-koagulasi (koagulan tawas), filtrasi (zeolit), dan pengolahan biologi dengan eceng gondok, dapat menurunkan parameter pencemar COD, BOD dan logam berat (Cr) (Muljadi, 2009). Selain metode fisika, kimia dan biologi, di Indonesia, penelitian pengolahan air limbah berwarna telah dilakukan oleh Nugroho, *et al.*, (2005) dengan menggunakan ozon yang dikombinasikan dengan *Advanced Oxydation Processes* (AOPs) yang dilakukan pada skala prototip di laboratorium dan pengolahan air limbah batik melalui proses elektrokoagulasi (Yulianto Andik, *et al.*, 2009),

namun proses ini membutuhkan teknologi yang cukup mahal, sedangkan metode fisika, kimia, dan biologi menghasilkan lumpur yang cukup banyak.

Dalam pemilihan alternatif proses pengolahan, perlu dipertimbangkan baik segi kemampuan suatu proses dalam menurunkan jumlah polutan, maupun segi kemampuan finansial serta kemudahan operasi dan perawatan. Salah satu alternatif proses pengolahan yang sering digunakan adalah dengan proses degradasi anaerobik. Proses anaerobik memiliki kelebihan biaya operasi dan perawatan yang murah, selain itu dalam pengoperasiannya juga lebih mudah. Proses secara anaerobik juga mampu menerima beban yang lebih besar jika dibanding dengan proses secara aerobik.

Seperti industri tekstil lainnya, limbah batik juga dapat diolah dengan kombinasi proses anaerobik dan aerobik. Metode ini sering dipilih karena secara desain lebih efisien dibandingkan hanya dengan metode fisik-kimia ataupun konvensional.

Perencanaan ini bertujuan untuk menganalisa alternatif pengolahan yang sesuai bagi limbah cair hasil produksi batik oleh industri kecil-menengah di Pekalongan. Adapun aspek yang dikaji dalam perencanaan ini adalah aspek teknis dan aspek finansial yang akan disajikan dalam bentuk *bill of quantity* (BOQ) dan rencana anggaran biaya (RAB).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam perencanaan ini adalah mengenai desain sistem pengelolaan air limbah yang tepat untuk limbah cair batik yang dihasilkan oleh industri kecil-menengah (IKM) di Kecamatan Pekalongan Barat, Kota Pekalongan, beserta dengan biaya yang diperlukan untuk menerapkan sistem pengelolaan yang telah dirancang.

1.3 Tujuan

Tujuan dari perencanaan ini adalah :

1. Menentukan tipe pengolahan air limbah yang sesuai untuk limbah cair batik yang dihasilkan oleh industri kecil-menengah (IKM) di daerah Pasirsari, Kecamatan Pekalongan Barat.
2. Merencanakan desain Sistem Pengolahan Air Limbah limbah batik industri kecil-menengah (IKM) daerah Pasirsari, Kecamatan Pekalongan Barat

3. Menghitung nilai rencana anggaran biaya (RAB) yang dibutuhkan untuk menerapkan rancangan desain yang ada

1.4 Manfaat

Manfaat dari perencanaan ini adalah tersedianya dokumen *detail engineering design* yang dilengkapi dengan BOQ dan RAB IPAL komunal limbah batik, sesuai dengan karakteristik limbah cair yang dihasilkan oleh IKM di Pekalongan Barat.

1.5 Ruang Lingkup

Batasan dalam perencanaan ini adalah :

1. Perencanaan dilakukan pada beberapa industri kecil menengah di Pekalongan Barat
2. Aspek yang dikaji adalah aspek teknis dan finansial
3. Jenis data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder, meliputi :
 - Data primer :
 - a. Kondisi lahan perencanaan
 - b. Kualitas dan kuantitas air limbah dihasilkan
 - Data sekunder :
 - a. Peta kontur Kecamatan Pekalongan Barat, Kota Pekalongan.
 - b. Denah lokasi perencanaan (daerah Pasirsari, Kecamatan Pekalongan Barat)
 - c. HSPK Kota Semarang 2017
 - d. Lokasi sungai atau drainase di sekitar kompleks IKM.
4. Gambar perencanaan berupa *basic engineering design* SPAL dan *detail engineering design* IPAL
5. *Output* yang direncanakan meliputi :
 - a. *Layout* SPAL dan IPAL
 - b. Denah SPAL dan IPAL
 - c. Potongan memanjang dan melintang SPAL dan IPAL
 - d. Profil hidrolis SPAL dan IPAL

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Industri Batik

Batik adalah salah satu kerajinan budaya Indonesia yang memiliki nilai seni tinggi dan menjadi bagian dari budaya Indonesia khususnya Jawa (Yusak dan Adi, 2011). Produksi batik merupakan teknik pembuatan motif atau pola dengan cara perintangn menggunakan lilin atau malam batik (Suheryanto, 2012).

Industri batik merupakan penghasil limbah cair organik dengan volume yang besar, warna yang pekat dan berbau menyengat serta memiliki suhu, keasamam (pH), Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solid (TSS) yang tinggi. Suhu yang tinggi akan mengakibatkan kandungan oksigen terlarut dalam air menurun yang akan membunuh organisme dan limbah organik akan meningkatkan kadar nitrogen menjadi senyawa nitrat yang menyebabkan bau busuk (Sastrawijaya, 2009). Hal ini disebabkan oleh penggunaan bahan-bahan kimia dan zat warna dalam proses produksi batik. Bahan kimia yang digunakan antara lain Soda Kostik (NaOH), Soda Abu (Na_2CO_3), Soda Kue (NaHCO_3), Asam Sulfat (H_2SO_4), Sulfid, nitrit dan Teepol, sedangkan zat warna yang digunakan antara lain zat warna asam, zat warna basa, zat warna direk, zat warna reaktif, zat warna naftol dan zat warna bejana. Apabila air limbah dibuang ke media lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu maka dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama ekosistem perairan.

Potensi industri batik ini secara ekonomi cukup memberikan pendapatan yang besar kepada negara, baik dari segi penyerapan tenaga kerja maupun pemasukan devisa dan pajak. Permintaan pasar untuk konsumsi lokal dan luar negeri terbuka luas sehingga memberikan peluang yang besar untuk perkembangan industri ini.

2.1.1 Proses Produksi Batik

Teknik pembuatan batik meliputi tiga pekerjaan utama, yaitu pelekatan lilin pada media atau kain, pewarnaan, dan pelorodan (Suheryanto, 2015). Skema proses pembuatan batik berdasarkan Suprihatin (2014) dapat dilihat pada Gambar 2.1. Langkah-langkah dalam pembuatan batik adalah:

a) Pemolaan

Proses yang dilakukan berupa penempelan malam sebagai bahan utama perintang batik ke mori. Mori yang telah dibuat polanya kemudian dimalam dengan canting tulis maupun canting cap. Pada umumnya pelekatan lilin ini menggunakan alat yang disebut dengan canting. Adapula cara pembatikan lainnya adalah dengan menggunakan cap yang telah terbentuk pola.

b) Pewarnaan atau pencelupan

Motif batik yang telah dicap ataupun ditulis dengan lilin malam merupakan gambaran atau motif dari batik yang akan dibuat. Proses selanjutnya pemberian warna sehingga pada tempat yang terbuka menjadi berwarna, sedangkan tempat yang ditutup lilin tidak terkena warna yang diwarnai. Proses pewarnaan ini dilakukan dengan cara pencelupan air pewarna yang diberi warna.

c) Pelorodan atau penghilangan lilin

Pelorodan adalah proses penghilangan lilin malam yang menempel pada kain mori. Menghilangkan lilin malam pada batik dapat bersifat menghilangkan sebagian atau menghilangkan keseluruhan lilin malam. Menghilangkan sebagian atau setempat adalah melepas lilin malam pada tempat-tempat tertentu dengan cara mengerok dengan alat sejenis pisau. Pelorodan yang dilakukan diakhir disebut mbabar atau ngebyok. Pelepasan lilin dilakukan dengan air panas. Lilin akan meleleh dalam air panas sehingga terlepas dari kain. Proses pelorodan bisa dikatakan berhasil apabila semua lilin dapat larut serta tidak mempengaruhi warna dan kekuatan kain (Susanto, 1980).



Gambar 2.1. Proses produksi batik

2.1.2 Karakteristik Limbah Industri Batik

Proses produksi batik dari persiapan hingga penyempurnaan diindikasikan menggunakan bahan kimia yang

mengandung unsur logam berat. Hal ini menyebabkan bahan buangan yang dihasilkan dari proses produksi juga masih mengandung unsur logam berat. Air limbah batik pada umumnya bersifat basa dan memiliki kadar organik yang tinggi akibat sisa proses pembatikan. Proses pencelupan yang dilakukan merupakan penyumbang zat warna yang kuat apabila tidak diberikannya pengolahan yang tepat. Zat warna yang terkandung dalam air limbah batik umumnya sukar untuk terdegradasi dengan baik. Zat warna ini umumnya didesain untuk memiliki tingkatan kimia yang tinggi untuk menahan kerusakan akibat oksidatif yang berasal dari cahaya matahari (Manurung, 2004). Karakteristik air limbah ini dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu :

a) Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik air limbah meliputi temperatur, bau, warna, dan padatan. Temperatur menunjukkan derajat atau tingkat panas air limbah yang ditunjukkan kedalam skala. Suhu dapat mempengaruhi kadar *Dissolved Oxygen* (DO) dalam air. Kenaikan temperatur sebesar 10°C dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen sebesar 10% dan akan mempercepat metabolisme 2 kali lipat. Adanya bau yang lain pada air limbah, menunjukkan adanya komponen-komponen lain di dalam air tersebut. Warna biasanya disebabkan oleh adanya materi *dissolved*, *suspended*, dan senyawa-senyawa koloidal, yang dapat dilihat dari spektrum warna yang terjadi. Padatan yang terdapat di dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi *floating*, *settleable*, *suspended* atau *dissolved*, berbau menyengat, dan kontaminan akan membuat air menjadi keruh. Timbulnya gejala tersebut secara mutlak dapat dipakai sebagai salah satu tanda terjadinya tingkat pencemaran air yang cukup tinggi.

b) Karakteristik kimia

Karakteristik Kimia, meliputi *Chemical Oxygen Demand* (COD), pH, dan DO. COD merupakan banyaknya oksigen dalam mg/L yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi. Semakin tinggi kadar COD maka semakin buruk kualitas air tersebut. DO merupakan sebuah ukuran banyaknya kandungan oksigen yang terlarut dalam air. Oksigen terlarut ini merupakan hal yang paling penting untuk ikan. DO optimum untuk ikan adalah 5-6 mg/L, sedangkan kadar DO minimum paling tidak adalah 3 mg/L. pH merupakan cara untuk menunjukkan derajat keasaman dalam

perairan. Ikan dapat hidup pada kisaran pH 5-9. Ikan akan mati apabila pH dalam air dibawah dari 4 ataupun diatas dari 11.

c) Karakteristik Biologis

Mikroorganisme ditemukan dalam jenis yang sangat bervariasi hampir dalam semua bentuk air limbah, biasanya dengan konsentrasi 105-108 organisme/mL. Keberadaan bakteri dalam unit pengolahan air limbah merupakan kunci efisiensi proses biologis. Bakteri juga berperan penting untuk mengevaluasi kualitas air (Purwaningsih, 2008).

Industri batik menghasilkan limbah cair dengan kandungan organik yang besar, warna yang pekat, berbau menyengat dan memiliki suhu yang tinggi. Nilai keasaman (pH), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS) yang dihasilkan juga tinggi (Kurniawan dkk., 2013).

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Tekstil dan Batik

No	Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Pencemar Maksimum (kg/ton produksi)							
			Tekstil Terpadu	Pencucian Kapas, Pemintalan, Penenunan	Pereka-tan	Pengikisan ; Pemasakan	Pemuca-tan	Merserisasi	Pencelupan	Pence-takan
1	BOD5	60	6	0,42	0,6	1,44	1,08	0,9	1,2	0,36
2	COD	150	15	1,05	1,5	3,6	2,7	2,25	3	0,9
3	TSS	50	5	0,35	0,5	1,2	0,9	0,75	1	0,3
4	Fenol Total	0,5	0,05	0,004	0,005	0,012	0,009	0,008	0,01	0,003
5	Minyak dan Lemak	3	0,3	0,021	0,03	0,07	0,054	0,045	0,06	0,018
6	Ammonia Total	8	0,8	0,056	0,8	0,192	0,144	0,12	0,16	0,048
7	Sulfida (sebagai S)	0,3	0,03	0,002	0,003	0,007	0,0054	0,005	0,006	0,002
8	pH	6 - 9								

Sumber: Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 10 Th 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah

2.2 Pengolahan Air Limbah

Teknologi pengolahan air limbah adalah kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan. Berbagai teknik pengolahan air limbah untuk menyisihkan bahan polutannya telah dicoba dan dikembangkan selama ini. Teknik-teknik pengolahan air buangan yang telah dikembangkan tersebut secara umum dapat dibagi menjadi tiga metode pengolahan, yaitu pengolahan secara fisik, pengolahan secara kimia, dan pengolahan secara biologi (Suharto, 2010). Ketiga proses tersebut dapat digabung/dikombinasikan juga bisa dilakukan terpisah. Jenis pengolahan air limbah tersebut dipilih berdasarkan karakteristik dan jenis air limbah itu sendiri. Berikut adalah penjelasan dari ketiga proses pengolahan air limbah:

1. Pengolahan Secara Fisik

Pengolahan limbah cair secara fisika bisa dilakukan dengan cara filtrasi, sedimentasi, flotasi dan adsorpsi. Filtrasi adalah proses pemisahan padatan dan cairan dengan menggunakan penyaring (filter). Sedangkan proses sedimentasi adalah proses pemisahan padatan dan cairan dengan cara mengendapkan zat tersuspensi dengan memanfaatkan gaya gravitasi (Abramian dan Houssam, 2000). Flotasi digunakan proses daya apung untuk memisahkan partikel padatan tersuspensi dari limbah cair dan pemisahan lemak, pelumas dari industri olahan susu sapi/kerbau dan juga untuk memisahkan partikel padat rendah densitas. Adsorpsi dilakukan dengan cara penambahan adsorben agar terjadi penumpukan materi pada *interface* antara zat kontaminan dan adsorben.

2. Pengolahan Secara Kimiawi

Pengolahan secara kimia biasanya dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun dengan membubuhkan bahan kimia tertentu sesuai keperluan. Beberapa proses kimia pada pengolahan ini antara lain: netralisasi asam atau basa, koagulasi-flokulasi, dialisis dan ozonisasi.

3. Pengolahan Secara Biologis

Pengolahan limbah secara biologi memanfaatkan aktivitas biologi didalam menguraikan bahan-bahan organik yang terkandung dalam air limbah. Semua air yang bersifat biodegradable dapat diolah secara biologi. Pengolahan ini dipandang sebagai pengolahan yang paling murah dan efisien sebagai pengolahan sekunder. Air limbah yang bisa diolah secara biologi adalah yang bersifat *biodegradable*; dengan nilai perbandingan BOD/COD $\geq 0,5$ (Kindsigo dan Juha, 2006).

2.3 Alternatif Pengolahan Air Limbah Industri Batik

Terdapat dua studi mengenai alternatif IPAL yang akan menjadi pertimbangan dalam memilih pengolahan air limbah pada industri batik. Alternatif IPAL yang pertama menggunakan metode fisik-kimia berdasarkan studi yang telah dilakukan oleh Muljadi (2011), yaitu sedimentasi 1, dilanjutkan dengan koagulasi-flokulasi, dan filtrasi. Alternatif IPAL yang kedua menggunakan metode fisik-biologi berdasarkan studi yang telah dilakukan oleh Suprihatin (2014), yaitu adsorpsi dengan tempurung kelapa, koagulasi dengan tawas, dan dilanjutkan dengan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR).

Pemilihan alternatif akan didasarkan pada karakteristik air limbah industri batik. Dapat dilihat pada Tabel 2.2 yaitu karakteristik air limbah industri batik. Selain itu juga berdasarkan kemampuan dari unit pengolahan dalam mengelola limbah industri batik.

Berdasarkan penelitian Puslitbang Air (2015), limbah batik dari UKM di kota Pekalongan mengandung BOD sebesar 621 mg/L, COD 1739 mg/L, TSS sebesar 329 mg/L, fenol 0,128 mg/L, sulfida 0,177 mg/L, lalu minyak dan lemak sebesar 2 mg/L. Pada limbah batik, diketahui bahwa parameter COD merupakan pencemar utama yang bernilai paling tinggi.

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Muljadi (2011), diketahui bahwa removal parameter COD untuk sedimentasi 1 yang diberi screen sebelumnya adalah sebesar 35,7%; untuk proses koagulasi-flokulasi dengan koagulan AFC tipe 142 konsentrasi 10% dosis 200 ppm sebesar 95,7%; dan untuk proses filtrasi sebesar 36,27%. Lalu untuk removal parameter BOD, pada sedimentasi 1 sebesar 32,3%; untuk proses koagulasi-flokulasi sebesar 90,2%; dan untuk proses filtrasi sebesar 34,3%.

Sedangkan berdasarkan studi yang dilakukan oleh Suprihatin (2011), tidak diketahui removal untuk BOD dan COD pada proses adsorpsi dengan tempurung kelapa, karena tujuan dari adsorpsi ini adalah pengurangan kadar logam dalam limbah batik. Lalu diketahui bahwa removal parameter COD untuk koagulasi-flokulasi dengan tawas dosis 50 ppm sebesar 60,7%; dan untuk proses biologis dengan ABR sebesar 75%. Tidak dilakukan penelitian laboratorium terhadap penurunan parameter BOD, hanya parameter COD saja yang diuji dalam studi ini.

Dalam perencanaan ini, alternatif 1 lebih dipertimbangkan karena nilai rasio BOD/COD limbah batik berdasar penelitian oleh Puslitbang Air (2015) adalah sebesar 0,36 ($<0,5$).

2.3.1 Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi digunakan untuk mengatasi masalah operasional seperti variasi debit. Bak ekualisasi juga untuk meningkatkan kinerja proses aliran bawah dan menurunkan ukuran dan harga fasilitas pengolahan aliran bawah. Ekualisasi debit bertujuan untuk mencapai debit konstan dan dapat diaplikasikan pada kondisi berbeda tergantung karakteristik sistem pengumpulan.

Bak ekualisasi dapat disusun secara *in-line* maupun *off-line*. Pada susunan *in-line*, semua debit melewati bak ekualisasi. Penyusunan ini dapat digunakan untuk mencapai jumlah pengecilan konsentrasi konstituen dan debit. Pada susunan *off-line* hanya debit yang melimpah yang dialirkan menuju bak ekualisasi. Kebutuhan pompa diminimisasi pada susunan ini, namun jumlah pengecilan konsentrasi unsur berkurang. Ekualisasi secara *off-line* biasanya digunakan untuk menangkap bilasan pertama dari sistem pengumpulan kombinasi.

Bak ekualisasi yang diletakkan setelah pengolahan primer dan sebelum pengolahan biologis bisa menjadi pilihan tepat. Ekualisasi setelah pengolahan primer menghasilkan endapan padatan dan akumulasi buih yang lebih sedikit. Perancangan bak ekualisasi harus menyediakan pencampuran yang cukup untuk mencegah endapan padatan dan variasi konsentrasi serta aerasi untuk mencegah masalah bau (Metcalf dan Eddy, 2003).

2.3.2 Pengolahan Secara Biologis

2.3.2.1 Wetland

Constructed wetland (lahan basah buatan) adalah sistem pengolahan terencana atau terkontrol yang didesain menggunakan proses alami. Proses ini melibatkan vegetasi, media dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah (Risnawati dan Damanhuri, 2009). Sistem pengolahan yang direncanakan, seperti untuk debit air limbah, beban organik, kedalaman media, jenis tanaman digunakan, sehingga kualitas air limbah yang keluar dari sistem tersebut dapat dikontrol sesuai dengan yang dikehendaki oleh perencana. Dari aspek hidrolika, *constructed wetland* diklasifikasikan menjadi dua tipe, yaitu sistem aliran permukaan (*Surface Flow Constructed Wetland*) atau FWS (*Free Water Surface*) dan sistem aliran bawah permukaan atau SSF-*Wetland* (*Sub Surface Flow Wetland*) (Vymazal, 2010). Berdasar pola aliran, CW dapat diklasifikasikan berdasar arah aliran horizontal dan vertikal (Suswati dan Gunawan, 2013).

Constructed Wetland dapat berfungsi sebagai pengolah limbah selain limbah domestik, yaitu seperti limbah industri, limbah rumah sakit, maupun pertambangan. Untuk masing-masing fungsi sebagai pengolah limbah, harus dirancang sesuai karakteristik limbah yang ada (Suswati dan Gunawan, 2013). Prinsip kerja sistem pengolahan air limbah jenis CW adalah dengan memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan air dengan mikroorganisme dalam media di sekitar sistem perakaran (*Rhizosphere*) tumbuhan tersebut. Bahan organik yang terdapat di dalam air limbah akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi senyawa yang lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrisi. Sistem perakaran tumbuhan air akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme (Supradata, 2005).

Klasifikasi *Constructed Wetland* berdasarkan jenis tanaman yang digunakan, terbagi menjadi 3 macam :

1. Sistem yang menggunakan tanaman *macrophyta* mengambang atau sering disebut dengan lahan basah sistem tanaman air mengambang (*Floating Aquatic Plant System*)

2. Sistem yang menggunakan tanaman *macrophyta* dalam air (*Submerged*) dan umumnya digunakan pada lahan basah buatan tipe aliran permukaan (*Surface Flow Wetland*).
3. Sistem yang menggunakan tanaman *macrophyta* yang memiliki akar tenggelam atau sering disebut juga *amphibiuous plant* dan biasa digunakan untuk lahan basah tipe aliran bawah permukaan (*Surface flow constructed wetland*).

Menurut Hammer (1966), pengolahan limbah sistem *wetland* didefinisikan sebagai sistem pengolahan yang memasukkan faktor utama :

1. Area yang tergenangi air dan mendukung kehidupan tumbuhan air sejenis *hydrophyta*.
2. Media tempat tumbuh berupa tanah yang selalu digenangi air (basah).
3. Media bisa juga bukan tanah, tapi media yang jenuh dengan air.

Definisi tersebut kemudian disempurnakan oleh Metcalf and Eddy (1993), yaitu *wetland* merupakan sistem yang juga termasuk pengolahan alami, dimana terjadi aktivitas pengolahan sedimentasi, filtrasi, transfer gas, adsorpsi, pengolahan kimiawi dan biologis. Hal tersebut terjadi karena adanya aktivitas mikroorganisme dalam tanah serta aktivitas tanaman.

Kriteria desain yang sangat penting untuk sistem CW adalah waktu detensi hidrolis, dimensi bak terutama kedalaman, laju beban BOD₅, dan laju beban hidrolis. Menurut Vyamazal (2010), CW dirancang dengan perlakuan lebih terkontrol, misalnya dengan pengaturan *Hydraulic Loading Rate* (HLR) dan *Hydraulic Retention Tme* (HRT) sebagai pertimbangan desain dimensinya. Rentang tipikal yang disarankan untuk perencanaan diberikan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kriteria Desain *Constructed Wetland*

No	Parameter Desain	Unit	Tipe Sistem	
			FWS	SSF
1.	<i>Hydraulic detention time</i>	day	4 - 15	4 - 15
2.	<i>BOD₅ loading rate</i>	lb/acre	< 60	< 60

3.	<i>Hydraulic loading rate</i>	Mgal/ acre.d	0,015 - 0,050	0,015 - 0,050
4.	<i>Specific area</i>	Acre/ (mgal/d)	67 - 20	67 - 20

Sumber : Metcalf and Eddy, 2009

Sedangkan rentang tipikal penurunan beban pencemar untuk perencanaan *wetland* ialah sebagai berikut :

Removal TSS : 60 – 75 %

Removal BOD oleh media : 75 – 98 %

Removal BOD dengan tanaman : +4,4 % (Diaz *et al*, 2014)

Karakteristik tipikal media yang digunakan pada sistem SSF terdapat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Karakteristik Tipikal Media untuk SSF

<i>Media type</i>	<i>Max 10% grain size, mm</i>	<i>Porosity, α</i>	<i>Hydraulic Conductivity, ks, ft³/ft².d</i>	<i>K₂₀</i>
Medium sand	1	0,42	1,380	1,84
Coarse sand	2	0,39	1,575	1,34
Gravelly sand	8	0,35	1,610	0,86
Medium gravel	32*	0,4*	1,640*	1,104*

Sumber : Metcalf and Eddy, 2003; EPA, 1999()*

Penyumbatan merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan pada filtrasi horizontal. Bila penyumbatan (*clogging*) ini terjadi, maka konstruksi tersebut tidak akan berfungsi dengan semestinya dan perlu dilakukan pembongkaran dan pergantian media dan hal tersebut merupakan pekerjaan yang menyulitkan. Karena itu pemilihan media merupakan salah satu masalah yang amat penting dalam mendesain filtrasi horizontal sehingga media yang lazim digunakan untuk filtrasi horizontal adalah *gravel* (kerikil) (Metcalf dan Eddy, 2003).

Sistem pengaliran *wetland* sendiri terbagi menjadi 2, yaitu vertikal dan horizontal. Sistem pengaliran secara vertikal tidak dilakukan secara kontinu, melainkan secara *batch*. Air limbah mengalir dari atas ke bawah dengan melewati zona akar dan keluar dari dasar media. Sistem ini baik digunakan untuk proses nitrifikasi karena kemampuan transfer oksigen, penyisihan BOD dan COD yang tinggi. Kekurangan dari sistem aliran vertikal adalah kurang bagus di dalam penyisihan partikel tersuspensi apabila pemilihan media kurang tepat, akan terjadi *clogging*.

Sedangkan sistem aliran horizontal merupakan sistem aliran pada *Sub- Surface Wetland* dengan mengalirkan air limbah secara horizontal di bawah tanaman yang ditanam di media lapisan yang paling atas. Tanaman tersebut memiliki kemampuan dalam mengadsorpsi oksigen dengan menggunakan daun dan batang yang berada di atas permukaan media. Oksigen terserap akan ditransfer ke akar. *Aerobic microsities* yang terdapat di akar akan membantu proses aerobik pada mikroorganisme, seperti proses nitrifikasi.

Kelebihan dari sistem ini adalah tidak adanya genangan air yang dapat menimbulkan bau dan menjadi tempat berkembang biak nyamuk. Selain itu, sistem aliran horizontal juga baik dalam penyisihan partikel tersuspensi, karena kemampuan di dalam menyaring dan juga kemampuan penyisihan BOD nya. Kekurangan dalam sistem ini adalah tidak bagus di dalam proses nitrifikasi karena kemampuan di dalam transfer oksigen yang terbatas dan sering terjadi aliran pendek yang menyebabkan terjadi menurunnya efisiensi pengolahan. Oleh karena itu, sistem ini tidak cocok untuk pengolahan air limbah yang mengandung *suspended solid* yang tinggi (Kayombo *et al*, 2006).

Constructed Wetland memiliki kelebihan dan kekurangan. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai kelebihan dan kekurangan dari CW. Kelebihan dari penggunaan CW sebagai salah satu alternatif pengolah air limbah menurut Khambali (2011), adalah sebagai berikut :

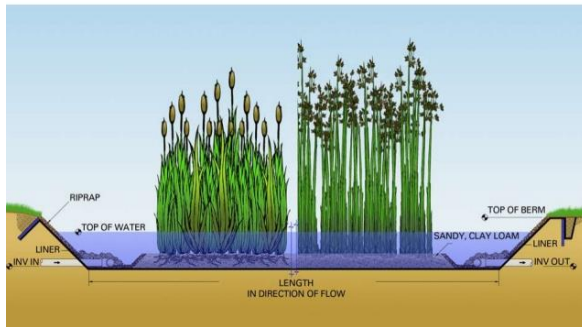
1. Teknologi tepat guna yang murah
2. Tahan lama dan mudah dalam perawatan
3. Tidak memerlukan teknologi yang rumit dan peralatan mesin ataupun bahan kimia
4. Biaya operasional cenderung murah
5. Menggunakan sumber daya alam yang ada
6. Menyediakan ekosistem baik untuk tumbuhan ataupun hewan
7. Tertata sebagai taman dengan lanskap yang indah dipandang

Sedangkan kekurangan dari CW sendiri adalah :

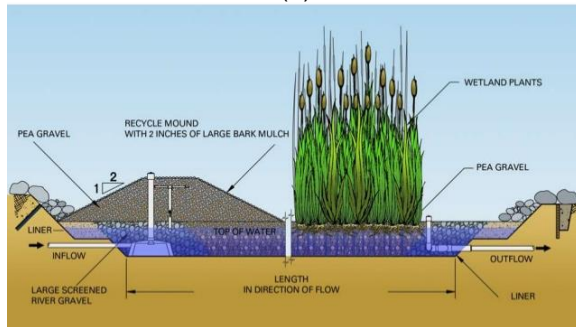
1. Pengoperasian sistem ini tergantung pada kondisi lingkungan termasuk iklim dan suhu. Pengolahan kurang optimal untuk daerah dengan suhu rendah

2. Untuk CW dengan *free water system*, dapat berpotensi menimbulkan bau dan menjadi sarang bagi vektor penyakit (nyamuk).

Seperti yang telah dibahas pada sebelumnya, CW dibagi menjadi 2 jenis yaitu *Free Water Surface* (FWS) dan *Sub Surface Flow* (SSF). Kedua sistem tersebut memiliki mekanisme yang berbeda. Menurut Wijayanti, dkk (2008), sistem FWS berupa kolam atau saluran-saluran yang dilapisi dengan lapisan *impermeable* di bawah saluran atau kolam. Lapisan tersebut berfungsi untuk mencegah merembesnya air keluar kolam saluran.



(a)



(b)

Gambar 2.2. *Constructed Wetland* berdasar tipe hidrolika

Gambar 2.2 (a) *Free Water Surface*

Gambar 2.2 (b) *Subsurface Flow CW*

FWS berisi tanah sebagai tempat hidup tanaman yang hidup pada air tergenang (*emerged plant*) dengan kedalaman 0,1 – 0,6 m (Metcalf dan Eddy, 1993). Pada sistem ini, limbah cair akan melalui akar tanaman, kemudian air limbah akan diserap oleh akar tanaman dengan bantuan bakteri (Crites dan Tchobanoglous, 1998).

Pada SSF, air limbah mengalir melalui tanaman yang ditanam pada media berpori. Sistem ini menggunakan media seperti pasir dan kerikil dengan diameter bervariasi antara 3 – 32 mm. Untuk zona inlet dan outlet biasanya digunakan diameter kerikil yang lebih besar untuk menghindari penyumbatan. Proses pengolahan yang terjadi yaitu filtrasi, absorpsi oleh mikroorganisme, dan adsorpsi oleh akar-akar tanaman terhadap tanah dan bahan organik (Novotny dan Olem, 1994).

Pada sistem SSF diperlukan slope untuk pengaliran air limbah dari inlet ke outlet. Tipe pengaliran air limbah pada umumnya secara horizontal, karena jenis ini memiliki efisiensi pengolahan terhadap *suspended solids* dan bakteri lebih tinggi dibanding tipe lain. Hal ini disebabkan karena adanya filtrasi yang lebih baik. Penurunan BOD juga lebih baik karena kemampuan transfer oksigen yang lebih tinggi (Khiattudin, 2003).

Mekanisme paling utama degradasi bahan organik pada CW adalah reaksi simbiosis antara tanaman dan bakteri, dimana oksigen yang dihasilkan dari fotosintesis maupun dipakai untuk respirasi oleh tanaman, dipakai oleh bakteri aerobik dan fakultatif dalam mendegradasi bahan organik (Poprasert *et al*, 1998). Sedangkan produk lain yang dihasilkan dari aktivitas dekomposisi oleh bakteri adalah CO₂ dan senyawa ammonium (proses amonifikasi).

Dalam menghilangkan atau mengurangi kandungan bahan pencemar, beberapa proses terjadi di dalam *Constructed Wetland*. Proses yang terjadi adalah fisik, biologi, dan kimia. Proses secara fisik yang terjadi adalah proses sedimentasi, filtrasi, adsorpsi oleh media tanah yang ada. Menurut Tangahu dan Warmadewanthi (2001), dengan adanya proses fisik ini hanya dapat mengurangi konsentrasi BOD dan COD solid maupun TSS, sedangkan BOD dan COD terlarut dapat dihilangkan dengan proses gabungan kimia dan biologi melalui aktivitas

mikroorganisme maupun tanaman. Mekanisme penghilangan polutan yang ada di CW disajikan pada tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4. Penghilangan Polutan Yang Ada di CW

Jenis Polutan	Proses Penghilangan
Bahan organik (diukur sebagai BOD)	Degradasi secara biologis, sedimentasi, dan digunakan oleh mikroorganisme
Kontaminan organik (contoh : Pestisida)	Adsorpsi, volatilisasi, fotolisis, dan degradasi secara biotik/abiotik
SS (<i>Suspended solids</i>)	Sedimentasi, filtrasi
Fosfor	Sedimentasi, filtrasi, adsorpsi digunakan oleh mikroorganisme dan tumbuhan
Patogen	Mati secara alami, sedimentasi, filtrasi, dimakan oleh predator, degradasi oleh sinar UV, adsorpsi
Logam berat	Sedimentasi, adsorpsi, digunakan oleh tumbuhan

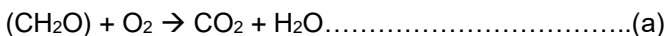
Sumber : Kayombo et al, 2013.

Berikut merupakan penjelasan singkat mengenai mekanisme penghilangan polutan pada CW.

Proses reduksi kontaminan organik

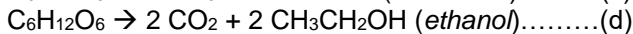
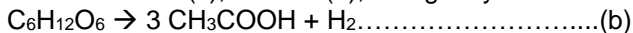
Senyawa organik mudah mengendap (*settleable organics*) dihilangkan dengan cepat pada sistem *wetland* dalam keadaan tenang (laminer) dengan proses deposisi/pengendapan dan filtrasi. Sedangkan senyawa organik terlarut (*soluble organics*) akan di removal oleh aktifitas mikroorganisme pada sistem *wetland*. Senyawa organik dapat direduksi melalui proses aerobik maupun anaerobik. Suplai oksigen yang dibutuhkan dalam degradasi secara aerobik diperoleh langsung dari atmosfer dengan cara difusi atau perembesan oksigen dari akar *macrophyte* ke dalam rhizosfer. Uptake bahan organik sendiri dapat diabaikan (tidak berarti) jika dibandingkan dengan proses degradasi biologis.

Degradasi aerobik untuk bahan organik terlarut sendiri dilakukan oleh bakteri heterotrof aerobik dengan reaksi sebagai berikut.

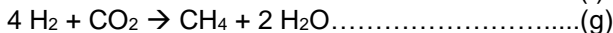
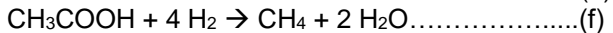
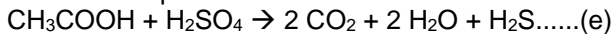


Sedangkan bakteri autotrof yang mendegradasi senyawa organik mengandung nitrogen dalam kondisi aerobik disebut dengan bakteri nitrifikasi, prosesnya disebut amonifikasi.

Degradasi anaerobik adalah suatu proses bertahap yang terjadi dalam CW tanpa adanya kehadiran oksigen terlarut. Proses ini dapat dilakukan baik oleh bakteri heterotrof fakultatif dan obligat anaerobik. Pada tahap pertama, produk akhir utama dari fermentasi adalah *fatty acids* (asam lemak) seperti *acetic acids* (b), *butyric and lactic acids* (c), alkohol (d), dan gasnya CO₂ serta H₂.



Asam asetat adalah asam utama yang terbentuk di sebagian besar tanah dan endapan yang tergenang. Lalu bakteri pereduksi sulfat anaerobik (e) dan pembentuk metana (f dan g) akan memanfaatkan produk akhir dari fermentasi.



Bakteri pembentuk metana bersifat sensitif, dan hanya dapat beroperasi pada pH 6,5 – 7,5. Jika terjadi produksi asam berlebih oleh bakteri pembentuk asam, maka dapat menyebabkan kondisi pH yang rendah, sehingga mengganggu atau bahkan menghentikan reaksi oleh bakteri pembentuk metana, dan menghasilkan bau pada CW. Degradasi secara anaerobik terjadi lebih lambat dibanding degradasi secara aerobik.

Proses reduksi logam berat dan padatan koloidal

Berdasarkan Stowell *et al* (1981), padatan koloidal (*non settling solids*) akan direduksi, sebagian oleh aktivitas bakteri (yang akan menghasilkan pengendapan dari beberapa padatan koloid dan peluruhan mikroba) dan tumbukan/*collisions* (gaya inersia dan gerak brown) dengan adsorpsi terhadap padatan lainnya (tumbuhan, dasar kolam, padatan tersuspensi, dll).

Sedangkan proses removal untuk logam berat pada CW adalah sedimentasi, filtrasi, adsorpsi, presipitasi, pertukaran kation, serapan oleh tanaman, reaksi oleh mikroba pada media,

dan oksidasi (Watson *et al*, 1989). Adsorpsi melibatkan pengikatan partikel dari senyawa terlarut dalam larutan untuk terikat pada tanaman atau permukaan matriks. Dalam proses pertukaran kation, ion logam bermuatan positif akan terikat pada permukaan bermuatan negatif dari materi pengadsorpsi. Gaya tarik dalam pertukaran kation adalah elektrostatis dan besar gaya ini bergantung pada beberapa faktor. Kation dalam larutan akan menggantikan kation yang terikat pada sebuah matriks di permukaan material, jika daya tarik elektrostatis dari matriks untuk kation terlarut melebihi dari kation yang terikat. *Cation exchange capacity* (CEC) dari suatu materi merupakan ukuran dari jumlah matriks terikat per massa atau volume.

Adsorpsi logam berat pada permukaan tanaman merupakan proses yang dapat terjadi secara signifikan pada tanaman dengan rasio luas permukaan pada volume yang tinggi. Nilai CEC juga dipengaruhi oleh luas permukaan vegetasi yang tersedia untuk perpindahan kation dengan ion logam bermuatan positif yang lebih kuat pada air limbah.

Removal logam berat juga dapat dilakukan dengan cara diserap oleh tanaman. Beberapa spesies tanaman *wetland* memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap langsung logam berat yang ada. Akumulasi dari logam berat memungkinkan untuk dapat membunuh tanaman hanya dalam satu masa pertumbuhan (Cooper *et al*, 1996). Namun banyak spesies yang mekanismenya telah berkembang dan menjaga proses penyerapan logam berat. Banyak studi yang telah dilakukan dan menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat terbanyak terdapat pada akar tumbuhan. Konsentrasi yang lebih rendah ditemukan pada rhizoma, dan yang terendah adalah pada batang serta daun. Oleh karena itu pemanenan biomassa di atas permukaan tanah hanya akan sedikit membantu pengurangan logam.

Tabel 2.5. Detail Mekanisme Removal Polutan di CW

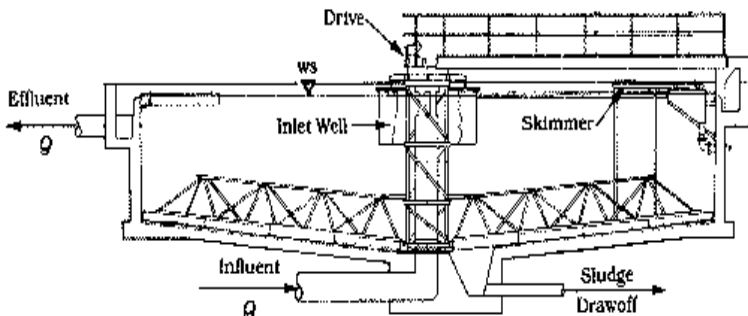
Mechanism	Contaminant affected*								Description
	SS	CS	BOD	N	P	HM	RO	B&V	
Physical									
Sedimentation	P	S	I	I	I	I	I	I	Gravitational settling of solids
Filtration	S	S							Particulates filtered mechanically as water passes through substrate, root masses, or fish
Adsorption		S							Interparticle attractive force (van der Waals force)
Volatilisation				S					Volatilisation of NH ₃ from the wastewater
Chemical									
Precipitation					P	P			Formation of or co-precipitation with insoluble compounds
Adsorption					P	P	S		Adsorption on substrate and plant surfaces
Decomposition							P		Decomposition or alteration of less stable compounds by phenomena such as UV irradiation, oxidation, and reduction
Biological									
Bacterial metabolism		P	P	P			P		Removal of colloidal solids and soluble organics by suspended, benthic, and plant-supported bacteria. Bacterial nitrification/denitrification
Plant metabolism							S	S	Uptake and metabolism of organics by plants. Root excretion may be toxic to organisms of enteric origin.
Plant absorption				S	S	S	S		Under proper conditions significant quantities of these contaminants will be taken up by plants
Natural die-off								P	Natural decay of organisms in an unfavorable environment

* SS=settleable solids, CS=colloidal solids, HM=heavy metals, RO=refractory organics, B&V=bacteria and viruses, P=primary effect, S=secondary effect, I=incidental effect (effect occurring incidental to removal of another contaminant).

2.3.3 Pengolahan Secara Fisik dan Kimia

2.3.3.1 Sedimentasi (Pengolahan Secara Fisik)

Pengolahan tahap pertama (*Primary Treatment*) bertujuan untuk memisahkan padatan dari air secara fisik (Metcalf dan Eddy, 2003). Pengolahan tahap pertama dapat dilakukan melalui dua metode utama yaitu dengan proses fisika maupun secara kimia. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Thompson *et al* (1998) proses sedimentasi merupakan proses yang banyak dipakai di Inggris dengan efisiensi removal mencapai 80%. Hal yang sama juga dinyatakan oleh Rajvaid dan Markandey (1998) dimana sedimentasi memiliki efisiensi pengolahan sebesar 70 – 80%. Disisilain Azeverdo *et al.* (1999) menyatakan bahwa proses pengendapan limbah dipengaruhi pH dalam limbah.



Gambar 2.3. Potongan melintang bak sedimentasi circular

Sedimentasi merupakan proses pemisahan padatan seperti pasir, partikel besar, flok microbial maupun flok kimiawi. Efektivitas proses sedimentasi dalam memisahkan partikel padatan dipengaruhi oleh bilangan Reynold maupun bilangan Froude (Asmadi & Suharno, 2012). Bilangan Reynold untuk mencapai kondisi terbaik dalam proses sedimentasi adalah <2000 atau dalam kondisi laminar. Sedangkan bilangan Froude untuk sedimentasi adalah $> 10^{-5}$. Selain itu efektivitas proses sedimentasi juga dapat ditingkatkan dengan penambahan *plate settler* (Metcalf & Eddy, 2003).

Tabel 2.6. Kriteria Desain Sedimentasi

No	Parameter	Simbo	Satuan	Besaran
A	Sedimentasi Kelas I			
1	Efisiensi penurunan SS		%	30 – 65
2	Efisiensi penurunan BOD		%	30 – 40
3	Waktu detensi	Td	Jam	1,5 - 2,5
4	Over flowrate	Vo	m ² /m ³ /hari	30 – 50
5	Beban Pelimpah			
	Untuk Qr < 44 l/dt	Qr	m ² /m ³ /hari	124
	Untuk Qr > 44 l/dt	Qr	m ² /m ³ /hari	186
6	Rasio panjang : lebar		m	4:1 - 6:1
7	Kedalaman	d	m	3 - 4,5
8	Panjang	p	m	15 – 90
9	Lebar	l	m	3-24
10	Kemiringan dasar	S	%	1-2
11	Kecepatan inlet	v	m/dt	1
12	Kecepatan aliran	v	m/dt	0,3
B	Sedimentasi Kelas II			
1	Overflow rate	Vo	m ² /m ³ /hari	23 - 32
2	Weir loading		m ² /m ³ /hari	25 - 500
3	Kedalaman	h	m	3 - 5
4	Diameter	φ	m	36 - 60
5	Slope dasar saluran	S	mm/m	60-160
6	Waktu detensi	td	jam	2 - 4.

Dalam melakukan desain bak sedimentasi, perlu diketahui bahwa terdapat 4 zona dalam bak sedimentasi, yaitu zona *inlet*, pengendapan, lumpur, dan *outlet*. Keempat zona ini

perlu dihitung secara terpisah agar proses pengendapan berjalan dengan baik. Berikut merupakan langkah perhitungan bak sedimentasi :

Zona Pengendapan

Langkah yang harus dilakukan dalam mendesain zona pengendapan :

- a. Menentukan jumlah bak sedimentasi
- b. Menghitung debit tiap bak dengan rumus berikut

(persamaan 2.1)

$$Q_{\text{bak}} = Q_{\text{desain}} / \text{jumlah bak} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

$$Q_{\text{bak}} = \text{Debit tiap bak sedimentasi (m}^3/\text{detik)}$$

$$Q_{\text{desain}} = \text{Debit yang digunakan dalam perencanaan (m}^3/\text{detik)}$$

- c. Menghitung luas permukaan zona pengendapan

$$A_s = Q_{\text{bak}} / \text{OFR} \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana :

$$A_s = \text{Luas permukaan (m}^2\text{)}$$

$$\text{OFR} = \text{Overflow Rate (m}^3/\text{m}^2.\text{hari)}$$

- d. Menghitung volume dan kedalaman zona pengendapan

$$V = Q_{\text{desain}} \times t_d \dots\dots\dots 2.3$$

$$H = V / A_s \dots\dots\dots 2.4$$

$$\%r =$$

Dimana :

$$V = \text{Volume bak (m}^3\text{)}$$

$$t_d = \text{Waktu detensi (detik)}$$

$$H = \text{Kedalaman zona pengendapan (m)}$$

$$A_s = \text{Luas permukaan (m}^2\text{)}$$

- e. Menghitung diameter partikel terkecil yang diendapkan

$$D = \left(\frac{18 \times V_s \times v}{g \times (S_s - 1)} \right)^{0,5} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana :

$$D = \text{Diameter partikel terkecil yang diendapkan (m)}$$

$$v = \text{Viskositas Kinematis (m}^2/\text{detik)}$$

$$V_s = \text{Kecepatan Pengendapan Partikel (m/detik)}$$

$$g = \text{Percepatan Gravitasi (m/detik}^2\text{)}$$

$$S_s = \text{Specific Gravity}$$

f. Kontrol penggerusan (*scouring*)

$$V_{sc} = \left(\frac{8 \times k \times (Ss-1) \times g \times d}{f} \right)^{0,5} \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana :

V_{sc} = Kecepatan *scouring* (m/s)

Ss = *Specific Gravity*

g = Percepatan Gravitasi (m/s²)

D = Diameter partikel terkecil yang diendapkan (m)

g . Kontrol Bilangan *Reynold* dan *Froud*

$$N_{Re} = \frac{V_h \times R}{\nu} \dots\dots\dots 2.7$$

$$N_{Fr} = \frac{V_h}{(g \times R)^{0,5}} \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana :

N_{re} = Bilangan *Reynold*

N_{fr} = Bilangan *Froud*

V_h = Kecepatan Horizontal

R = Jari-jari Hidrolis

g = Percepatan Gravitasi (m/detik²)

ν = Viskositas Kinematis (m²/detik)

Zona Inlet

Langkah yang harus dilakukan dalam mendesain zona

inlet :

a. Merencanakan Pintu Air

$$Q_{bak} = k \times u \times a \times b \times (2 \times g \times h)^{0,5} \dots\dots\dots 2.9$$

Dimana :

Q_{bak} = Debit Air tiap Bak (m³/detik)

a = Tinggi Bukaan Pintu Air (m)

b = Lebar Pintu Air (m)

g = Percepatan Gravitasi (m/detik²)

h = Tinggi Muka Air pada Inlet (m)

b. Merencanakan *Perforated Baffle*

Perforated baffle direncanakan jika N_{re} dan N_{fr} pada zona pengendapan tidak memenuhi syarat aliran laminar sampai dengan transisional ($N_{re} < 2000$; $N_{fr} > 10^{-5}$). Langkah-langkah menentukan dimensi *perforated baffle* antara lain sebagai berikut.

1) Menentukan dimensi lebar dan kedalaman *baffle*

2) Menentukan diameter lubang dan jumlah lubang

yang diperlukan

$$A' = Q_{\text{bak}} / (c \times v) \dots\dots\dots 2.10$$

$$n = A' / A_L \dots\dots\dots 2.11$$

Dimana :

$$A' = \text{Luas Total Lubang (m}^2\text{)}$$

$$Q_{\text{bak}} = \text{Debit tiap Bak (m}^3\text{/detik)}$$

$$c = \text{Koefisien Konstanta Lubang}$$

$$v = \text{Kecepatan melalui Lubang (m/detik)}$$

$$n = \text{Jumlah Lubang}$$

$$A_L = \text{Luas Permukaan tiap Lubang (m}^2\text{)}$$

3) Dilakukan pengecekan Nre dan Nfr dengan persamaan 2.9 dan 2.10.

Zona Lumpur

Langkah-langkah dalam menentukan dimensi zona lumpur adalah sebagai berikut.

a. Menghitung produksi lumpur per hari. Produksi lumpur pada sedimentasi 1 dihitung berdasarkan *removal TSS (Total Suspended Solid)*.

$$W_{\text{TSS}} = Q_{\text{bak}} \times (100 - \% \text{removal TSS})\% \times \text{TSS}_{\text{in}} \dots\dots\dots 2.12$$

$$W_{\text{sludge}} = W_{\text{TSS}} / \% \text{solid} \dots\dots\dots 2.13$$

$$V_{\text{sludge}} = W_{\text{sludge}} / \rho_{\text{sludge}} \dots\dots\dots 2.14$$

Dimana :

$$W_{\text{TSS}} = \text{Berat Suspended Solid (kg/hari)}$$

$$W_{\text{sludge}} = \text{Berat Lumpur (kg/hari)}$$

$$Q_{\text{bak}} = \text{Debit tiap Bak (m}^3\text{/detik)}$$

$$\rho_{\text{sludge}} = \text{Densitas Lumpur (kg/m}^3\text{)}$$

$$V_{\text{sludge}} = \text{Volume Lumpur (m}^3\text{)}$$

$$\text{TSS}_{\text{in}} = \text{Konsentrasi TSS masuk}$$

b. Menghitung dimensi ruang lumpur. Ruang lumpur pada bak pengendap 1 umumnya didesain berbentuk limas terpancung, sehingga dimensi ruang lumpur adalah sama dengan dimensi limas terpancung, sebagai berikut.

$$V_{\text{sludge}} = 1/3 \times h \times (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2}) \dots\dots\dots 2.15$$

Dimana :

$$V_{\text{sludge}} = \text{Volume Lumpur (m}^3\text{)}$$

$$h = \text{Ketinggian Zona Lumpur (m)}$$

$$A_1 = \text{Luas Atas (m}^2\text{)}$$

A_2 = Luas Bawah (m^2)

c. Menghitung pipa penguras lumpur. Diameter pipa dihitung berdasar kemampuan/daya pompa penguras lumpur serta debit lumpur yang dikuras.

Zona Outlet

Langkah yang harus dilakukan dalam mendesain zona outlet :

a. Menghitung panjang total *weir*

$$L = Q_{bak} / \text{Weir Loading} \dots\dots\dots 2.16$$

Dimana :

L = Panjang total weir (m)

Q_{bak} = Debit tiap Bak (m^3/detik)

Weir Loading = Beban yang dapat ditampung pelimpah ($m^3/m^2.\text{detik}$)

b. Menghitung dimensi *weir*

$$Q_{bak} = 1,375 \times b \times h^{0,5} \dots\dots\dots 2.17$$

Dimana :

Q_{bak} = Debit tiap Bak (m^3/detik)

b = Lebar gutter (m)

h = Ketinggian air di atas gutter (m)

2.3.3.2 Koagulasi – Flokulasi

Secara singkat, pengertian dari koagulasi adalah proses penambahan koagulan atau zat kimia ke dalam suatu larutan dengan tujuan untuk mengkondisikan suspensi, koloid, dan materi tersuspensi dalam persiapan proses lanjutan yaitu flokulasi. Flokulasi adalah proses pengumpulan partikel-partikel dengan muatan tidak stabil yang kemudian saling bertubrukan sehingga membentuk kumpulan partikel-partikel dengan ukuran yang lebih besar, juga dikenal dengan istilah partikel flokulan atau flok.

Koagulasi adalah dicampurkannya koagulan dengan pengadukan secara cepat guna mendistabilisasi koloid dan solid tersuspensi yang halus, dan masa inti partikel, kemudian membentuk jonjot mikro (mikro flok). Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi sebagai berikut :

a. Suhu air

Suhu air yang rendah mempunyai pengaruh terhadap efisiensi proses koagulasi. Bila suhuair diturunkan , maka besarnya daerah

pH yang optimum pada proses koagulasi akan berubah dan merubah pembubuhan dosis koagulan.

b. Derajat Keasaman (pH)

Proses koagulasi akan berjalan dengan baik bila berada pada daerah pH yang optimum. Untuk tiap jenis koagulan mempunyai pH optimum yang berbeda satu sama lainnya.

c. Jenis Koagulan

Pemilihan jenis koagulan didasarkan pada pertimbangan segi ekonomis dan daya efektivitas dari pada koagulan dalam pembentukan flok. Koagulan dalam bentuk larutan lebih efektif dibanding koagulan dalam bentuk serbuk atau butiran.

d. Kadar ion terlarut

Pengaruh ion-ion yang terlarut dalam air terhadap proses koagulasi yaitu : pengaruh anion lebih besar daripada kation. Dengan demikian ion natrium, kalsium dan magnesium tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proses koagulasi.

e. Tingkat kekeruhan

Pada tingkat kekeruhan yang rendah proses destabilisasi akan sukar terjadi. Sebaliknya pada tingkat kekeruhan air yang tinggi maka proses destabilisasi akan berlangsung cepat.

Flokulasi adalah pengadukan perlahan terhadap larutan jonjot mikro yang menghasilkan jonjot besar dan kemudian mengendap secara cepat (Tjokrokusumo, 1995). Ada dua jenis proses flokulasi yaitu :

a. Flokulasi perikinetik

Flok yang diakibatkan oleh adanya gerak thermal (panas) yang dikenal sebagai gerak Brown, prosesnya disebut flokulasi perikinetik. Gerak acak dari partikel-partikel koloid yang ditimbulkan karena adanya tumbukan molekul-molekul air, akan mengakibatkan terjadinya gabungan antar partikel lebih sangat kecil $1 < 100$ milimikron (Sank R.K, 1986).

b. Flokulasi orthokinetik

Flokulasi orthokinetik adalah suatu proses terbentuknya flok yang diakibatkan oleh terbentuknya gerak media (air) misalnya pengadukan (Sank R.K, 1986). Pada umumnya kecepatan aliran cairan akan berubah terhadap tempat dan waktu. Perubahan kecepatan dari satu titik ke titik lainnya dikenal sebagai gradien kecepatan, dengan notasi G . Dengan adanya perbedaan kecepatan aliran media cair akan mempunyai aliran kecepatan

yang berbeda pula akibatnya akan terjadi tumbukan atau kontak antar partikel.

Jenis pengadukan sendiri dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metode pengadukan. Dimana berdasarkan kecepatannya, pengadukan dibagi menjadi 2 yaitu pengadukan cepat (koagulasi) dan pengadukan lambat (flokulasi). Kecepatan pengadukan dinyatakan dengan gradien kecepatan. Besarnya gradien kecepatan akan memengaruhi waktu pengadukan yang diperlukan. Untuk menyatakan kedua hal itu, maka digunakan bilangan Camp, yaitu hasil perkalian gradien kecepatan dengan waktu pengadukan atau GTd.

Sedangkan berdasarkan metode pengadukan, terbagi ke dalam 3 jenis yaitu pengadukan secara mekanis, hidrolis, dan pneumatis. Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan dengan menggunakan alat pengaduk berupa *impeller* yang digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Umumnya pengaduk mekanis terdiri dari motor, poros pengaduk, dan gagang pengaduk (*impeller*). Selanjutnya pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan gerakan air sebagai tenaga pengadukan. Sistem pengadukan ini menggunakan energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan), atau adanya lompatan hidrolik pada suatu aliran. Sedangkan yang terakhir yaitu pengadukan pneumatis. Pengadukan pneumatis merupakan sistem pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung yang dimasukkan ke dalam air sehingga menimbulkan gerakan pengadukan pada air. Injeksi udara bertekanan ke dalam air akan menyebabkan adanya turbulensi, akibat lepasnya gelembung udara ke permukaan air. Makin besar tekanan udara, kecepatan gelembung udara yang dihasilkan juga semakin besar dan diperoleh turbulensi yang makin besar pula.

Pada beberapa jenis limbah cair tekstil, salah satunya limbah yang berkarakteristik bening, proses koagulasi - flokulasi tidak bisa diterapkan dengan baik karena larutan yang bening miskin akan partikel-partikel (materi) tersuspensi (pembentuk koloid). Oleh karena itu, proses ini perlu dilakukan secara bertahap yakni dengan terlebih dahulu menaikkan kandungan partikel-partikel tersuspensi melalui penambahan tanah lempung. Tujuan dari penelitian untuk menemukan dosis bahan kimia (kapur,

kaporit, tanah lempung, tawas) yang tepat dalam mengolah air limbah tekstil guna menurunkan intensitas kadar COD dan warna sampai memenuhi baku mutu limbah agar aman dibuang ke lingkungan.

Dalam melakukan perencanaan koagulasi-flokulasi, perlu diketahui kriteria desain untuk proses koagulasi dan proses flokulasi, karena keduanya memiliki kriteria dan proses yang berbeda. Berikut merupakan kriteria desain untuk koagulasi-flokulasi.

Kriteria desain koagulasi (pengadukan cepat) :

Gradien = 300 – 1000 /detik

Waktu detensi = 5 – 60 detik

Kriteria desain flokulasi (pengadukan lambat) :

Gradien = 20 – 100 /detik

Waktu detensi = 10 – 60 menit

Langkah dalam merencanakan unit pengaduk cepat-lambat yaitu sebagai berikut.

a. Menetapkan nilai gradien kecepatan (G) dan waktu pengadukan (td), nilai gradien kecepatan dihitung dengan rumus berikut

$$G = \sqrt{\frac{\rho \cdot g \cdot h \cdot l}{\mu T}} \dots\dots\dots 2.18$$

b. Menghitung nilai GTd, dimana rumus GTd adalah

$$GTd = G \times Td \dots\dots\dots 2.19$$

Dimana :

G = Gradien kecepatan

Td = Waktu detensi

GTd = Bilangan *Champ*

c. Menghitung volume reaktor

$$V = Q \times Td \dots\dots\dots 2.20$$

Dimana :

V = Volume Reaktor (m³)

Q = Debit untuk perencanaan (m³/detik)

Td = Waktu tinggal

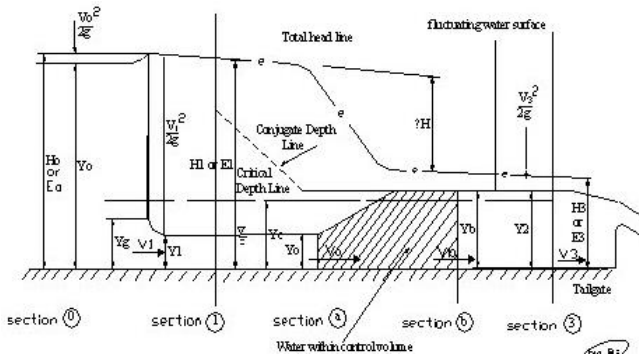
c. Menghitung *headloss* yang terjadi

$$H_f = \frac{G^2 \times v \times td}{g} \dots\dots\dots 2.21$$

Dimana :

Hf = *Headloss* karena gesekan (m)

- G = Gradien kecepatan
 ν = Viskositas Kinematis (m^2/detik)
 g = Percepatan Gravitasi (m/detik^2)
 t_d = Waktu detensi (detik)



Gambar 2.4. Skema Terjunan Hidrolis

Jika digunakan unit koagulasi hidrolis, maka perlu dihitung dimensi pada unit lompatan hidrolis tersebut, dengan rumus berdasar Chow (1959) sebagai berikut.

$$D = \frac{q^2}{g \times H^3} \dots\dots\dots 2.22$$

$$q = \frac{Q}{W} \dots\dots\dots 2.23$$

$$L_d = 4,3 \times H \times D^{0,27} \dots\dots\dots 2.24$$

Dimana :

D = Bilangan terjunan (*Drop number*)

Q = Debit aliran (m^3/detik)

W = Lebar terjunan (m)

q = Debit/lebar unit

H = Tinggi terjunan (m)

Setelah diperoleh nilai bilangan terjunan serta panjang terjunan, dihitung kedalaman air pada hulu loncatan hidrolis dan kedalaman air pada hilir loncatan hidrolis, sebagai berikut.

$$Y_1 = 0,54 \times H \times D^{0,425} \dots\dots\dots 2.25$$

$$Y_2 = 1,66 \times H \times D^{0,27} \dots\dots\dots 2.26$$

Dimana :

Y_1 = Kedalaman air pada hulu loncatan hidrolis (m)

Y_2 = Kedalaman air pada hilir loncatan hidrolis (m)

Kelebihan dari proses koagulasi-flokulasi ialah :

- a. Air hasil pengolahan cenderung lebih jernih dibanding pengolahan lainnya
- b. Dapat mengurangi turbiditas, serta kadar BOD dan COD pada air
- c. Lumpur yang dihasilkan cenderung dalam bentuk gumpalan besar karena adanya proses flokulasi, sehingga akan lebih mudah dalam mengendapkannya.

Kekurangan dari proses koagulasi-flokulasi ialah :

- a. Biaya yang dibutuhkan cenderung lebih tinggi dibanding pengolahan fisik karena dibutuhkannya zat kimia (koagulan) serta energi listrik untuk pengaduk.
- b. Diperlukan SDM / operator yang memadai di bidang proses kimia

2.3.3.4 Adsorbsi Karbon Aktif

Karbon aktif adalah karbon yang di proses sedemikian rupa sehingga pori – porinya terbuka, dan dengan demikian akan mempunyai daya serap yang tinggi. Karbon aktif merupakan karbon yang bebas serta memiliki permukaan dalam (internal surface), sehingga mempunyai serap yang baik. Keaktifan daya menyerap dari karbon aktif ini tergantung dari jumlah senyawa karbonnya yang berkisar antara 85 % sampai 95% karbon bebas. Karbon aktif yang berwarna hitam, tidak berbau, tidak terasa dan mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif yang belum menjalani proses aktivasi.

Pada proses adsorbsi ada dua yaitu proses adsorpsi secara fisika dan adsorpsi secara kimia. Adsorpsi secara fisika yaitu proses berlangsung cepat, dan dapat balik dengan panas adsorpsi kecil ($\pm 5-6$ kkal/mol), sehingga diduga gaya yang bekerja di dalamnya sama dengan seperti cairan (gaya Van Der Waals). Unsur yang terjerap tidak terikat secara kuat pada bagian permukaan penjerap. Adsorpsi fisika dapat balik (reversibel), tergantung pada kekuatan daya tarik antar molekul penjerap dan bahan terjerap lemah maka terjadi proses adsorpsi, yaitu pembebasan molekul bahan penyerap. Adsorpsi kimia adalah merupakan hasil interaksi kimia antara penjerap dengan zat-zat terserap, kekuatan ikatan kimia sangat bervariasi dan ikatan kimia

sebenarnya tidak benar-benar terbentuk tetapi kekuatan adhesi yang terbentuk lebih kuat dibanding dengan daya ikat penyerap fisika. Panas adsorpsi kimia lebih besar dibanding dengan adsorpsi fisika ($\pm 10-100$ kkal/mol). Pada proses kimia tidak dapat balik (inreversibel) dikarenakan memerlukan energi untuk membentuk senyawa kimia baru pada permukaan adsorben sehingga proses balik juga diperlukan energi yang tinggi.

Karbon aktif dapat digunakan sebagai bahan pemucat, penyerap gas, penyerap logam, menghilangkan polutan mikro misalnya zat organik, detergen, bau, senyawa phenol dan lain sebagainya. Pada saringan arang aktif ini terjadi proses adsorpsi, yaitu proses penyerapan zat - zat yang akan dihilangkan oleh permukaan arang aktif, termasuk CaCO_3 yang menyebabkan kesadahan. Apabila seluruh permukaan arang aktif sudah jenuh, atau sudah tidak mampu lagi menyerap maka kualitas air yang disaring sudah tidak baik lagi, sehingga arang aktif harus diganti dengan arang aktif yang baru. Banyak penelitian yang mempelajari tentang manfaat/kegunaan dari kegunaan karbon aktif yang dapat menyerap senyawa organik maupun anorganik, penyerap gas, penyerap logam, menghilangkan polutan mikro misalnya detergen, bau, senyawa phenol dan lain sebagainya. Pada saringan arang aktif ini terjadi proses adsorpsi, yaitu proses penyerapan zat-zat yang akan dihilangkan oleh permukaan arang aktif. Apabila seluruh permukaan arang aktif sudah jenuh, atau sudah tidak mampu lagi menyerap maka kualitas air yang di saring sudah tidak baik lagi, sehingga arang aktif harus di ganti dengan arang aktif yang baru.

Dalam merencanakan unit pengolahan tahap tiga ini, dapat dilakukan dengan cara *scale-up* berdasar percobaan laboratorium. Langkah-langkah dalam merencanakan unit adsorpsi yaitu sebagai berikut.

1. Menentukan volume bed dengan metode pendekatan *scale-up*, dengan rumus

$$\text{Bed volume (BV)} = Q/Q_b \dots\dots\dots 2.27$$
 Dimana :
 $Q = \text{Debit aliran (m}^3/\text{jam)}$
 $Q_b = 0,2-0,3 \text{ bed volume/jam}$
2. Menentukan massa adsorben yang dibutuhkan

$$M = \text{BV} \times \rho_s \dots\dots\dots 2.28$$

Dimana :

M = Massa Adsorben (kg)

BV = Volume Bed (m^3)

ρ_s = Densitas Adsorben (kg/m^3)

Karbon aktif yang berwarna hitam, tidak berbau, tidak terasa dan mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif yang belum menjalani proses aktivasi, serta mempunyai permukaan yang luas, yaitu memiliki luas antara 300 sampai 2000 $mg/gram$. Karbon aktif ini mempunyai dua bentuk sesuai ukuran butirannya, yaitu karbon aktif bubuk dan karbon aktif granular (butiran). Karbon aktif bubuk ukuran diameter butirannya kurang dari atau sama dengan 325 mesh. Sedangkan karbon aktif granular ukuran diameter butirannya lebih besar dari 325 mesh.

Luas permukaan yang luas disebabkan karbon aktif mempunyai kemampuan menyerap gas dan uap atau zat yang berada didalam suatu larutan. Sifat karbon aktif yang dihasilkan tergantung dari bahan yang digunakan, misalnya tempurung kelapa menghasilkan arang yang lunak dan cocok untuk menjernihkan air. Adapun keuntungan dari pemakaian karbon aktif ialah:

- a. Pengoperasian mudah karena air mengalir dalam media karbon.
- b. Proses berjalan cepat karena ukuran butiran karbonnya lebih besar.
- c. Karbon tidak tercampur dengan lumpur sehingga dapat diregenerasi.

Kelemahan penggunaan karbon aktif dalam mengadsorpsi limbah cair diantaranya; penggunaan karbon aktif terbatas hanya untuk limbah cair yang mengandung beberapa senyawa dan beberapa jenis logam berat saja. Penggunaannya terbatas dan tidak bisa diterapkan pada semua jenis limbah cair industri. Selain itu, pengolahan air limbah tidak bisa hanya dengan metode adsorpsi saja, biasanya metode adsorpsi digabungkan dengan beberapa metode pengolahan limbah yang lain. Hal ini dikarenakan metode adsorpsi merupakan jenis metode pengolahan tersier.

2.3.4 Pengolahan Lumpur

Dari setiap tahap pengolahan air limbah, maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu dilakukan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut dapat digunakan kembali untuk keperluan kehidupan, misalnya untuk menimbun lubang.

Lumpur mengandung sebagian besar pencemar yang mempunyai sifat-sifat berbahaya dari air limbah yang belum diolah. Oleh karena itu harus diolah atau diproses sehingga pembuangan akhir ke lingkungan dapat dilakukan tanpa dampak yang membahayakan.

Proses pengolahan lumpur dimaksudkan untuk mengolah lumpur agar tidak menimbulkan bau yang dapat mengganggu kesehatan dan lingkungan. Pada umumnya unit pengolahan lumpur meliputi *digestion* (stabilisasi) dan *dewatering* (pengeringan).

Proses *thickening* dimaksudkan untuk mereduksi volume lumpur limbah dengan mengurangi kandungan air yang terdapat di dalam lumpur dan untuk meningkatkan kandungan solid yang terkandung pada lumpur, dimana setelah proses ini kadar solid yang ada pada lumpur menjadi sebesar 1 – 5 %. Sedangkan proses *digestion* atau stabilisasi lumpur bertujuan untuk mereduksi mikroorganisme patogen, bau dan pembusukan dari materi organik. Proses ini merubah karakter dari yang tidak stabil menjadi stabil, toksik menjadi tidak toksik, sehingga tidak membahayakan lingkungan. Yang terakhir adalah proses *dewatering*, bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam lumpur sebelum dibuang ketempat pembuangan akhir, untuk meminimalisasi limbah yang dibuang (*waste minimization*).

Tujuan dari *sludge dewatering* diantaranya adalah : (1) untuk mereduksi biaya transportasi ke area pengeringan dan pembuangan; (2) meningkatkan nilai kalor (*calorific value*) dari lumpur, sehingga dapat masuk ke insinerasi; (3) untuk mereduksi lindi pada tempat pembuangan akhir; (4) untuk memudahkan penanganan lumpur dengan membuang kelebihan air.

Metode konvensional dari *sludge dewatering* adalah natural/gravitasional, mekanis, dan thermal. Metode secara natural memanfaatkan gaya gravitasi dalam pengendapan solid dalam lumpur, beberapa dengan bantuan bahan alami seperti media pasir ataupun kerikil. Contoh pengolahan dengan metode natural

adalah *sludge drying bed*, *thickener*, *dry reed bed*, dan *sludge lagoons*. Selanjutnya, metode secara mekanis merupakan proses pengurangan kadar air pada lumpur dengan menggunakan gaya yang dihasilkan oleh penggerak *non-thermal*, seperti gaya sentrifugal, gaya tekan (*pressure*), ataupun vakum. Contoh pengolahan dengan metode mekanis sendiri adalah *filter press*, *vacuum filter*, *belt filter press*, dan *membrane filter press*. Yang terakhir yaitu metode secara *thermal*, dilakukan dengan memanfaatkan gaya panas.

2.4 Sistem Penyaluran Air Limbah

Aliran air buangan yang berasal dari kegiatan produksi batik dikumpulkan untuk diolah dan kemudian dikembalikan ke lingkungan. Sistem yang digunakan untuk kepentingan ini disebut sebagai saluran air buangan (*sewerage system*) atau sebuah sistem pengumpulan yang terdiri dari pipa utama dan sejumlah pipa cabang dan juga unit tambahan lainnya, seperti struktur *inlet* dan pipa, untuk memfasilitasi pengumpulan air dan penyalurannya menuju lokasi pembuangan. Tahap berikutnya adalah sebuah instalasi pengolahan air buangan yang ditempatkan di ujung saluran untuk meningkatkan kualitas limbah cair sebelum dikembalikan ke lingkungan agar tidak terjadi pencemaran. Sistem pengumpulan air buangan dan air hujan yang efisien, aman dan terjangkau memiliki peran yang penting dalam infrastruktur yang ada.

Sistem pengelolaan air limbah sendiri dibedakan menjadi 2 tipe, yaitu sistem pengelolaan air limbah setempat dan sistem pengelolaan air limbah terpusat. Sistem setempat (*on-site system*) merupakan sistem pengelolaan air limbah yang dilakukan secara individu melalui pengolahan dan pembuangan air limbah setempat. Sedangkan sistem terpusat (*Off Site System*) merupakan sistem pembuangan air limbah yang disalurkan keluar dari lokasi pekarangan masing-masing rumah ke saluran pengumpul air limbah dan selanjutnya disalurkan secara terpusat ke bangunan pengolahan air buangan sebelum dibuang ke badan air penerima.

Sistem penyaluran air limbah dapat dilakukan secara terpisah, tercampur, maupun kombinasi antara saluran air limbah dengan saluran air hujan (Masduki, 2000).

2.4.1 Sistem Penyaluran Terpisah

Sistem ini dikenal dengan *full sewerage*, dimana air buangan dan air hujan dialirkan secara terpisah melalui saluran yang berbeda. Kelebihan sistem ini adalah masing-masing sistem saluran mempunyai dimensi yang relatif kecil sehingga memudahkan dalam konstruksi serta operasi dan pemeliharannya. Sedangkan kelemahannya adalah memerlukan tempat luas untuk jaringan masing-masing sistem saluran.

Beberapa alternatif dari sistem penyaluran air limbah secara terpisah adalah sebagai berikut.

Sistem penyaluran konvensional

Sistem penyaluran konvensional (*conventional sewerage*) merupakan suatu jaringan perpipaan yang membawa air limbah ke suatu tempat berupa bangunan pengolahan atau tempat pembuangan akhir seperti badan air penerima. Sistem ini terdiri dari jaringan persil, pipa servis, pipa lateral, dan pipa induk yang melayani penduduk untuk suatu daerah pelayanan yang cukup luas.

Syarat untuk penerapan sistem ini adalah :

- Suplai air bersih yang tinggi untuk penggelontoran
- Diameter pipa minimal 100 mm untuk membawa padatan
- Aliran dalam pipa harus seragam (*uniform*)
- *Slope* pipa harus didesain untuk memenuhi *self-cleansing* (0,6 m/s). Aliran dalam saluran harus memiliki tinggi renang agar dapat membawa padatan.

Sistem shallow sewerage

Shallow sewerage disebut juga sebagai *simplified sewerage* atau *condominial sewerage* (Mara, 1996). Perbedaan dengan sistem konvensional adalah sistem ini mengangkut air limbah dalam skala kecil dan pipa terpasang dengan kemiringan yang lebih landai. *Shallow sewer* sangat tergantung pada pembilasan air limbah untuk mengangkut buangan padat jika dibandingkan dengan cara konvensional yang mengandalkan *self cleansing*.

Biaya pembuatan *shallow sewerage* lebih murah dibandingkan dengan penyaluran secara konvensional dan bahkan mungkin lebih murah daripada sistem sanitasi setempat

karena penggalian yang dangkal, pipa yang digunakan berdiameter kecil dan unit pengawasan yang sederhana dalam tempat *manhole* yang tidak besar (*International Source Book On Environmentally Sound Technologies for Wastewater and Stormwater Management*, 2007).

Sistem *small bore sewer*

Saluran pada sistem riol ukuran kecil (*small bore sewer*) dirancang hanya untuk menerima bagian-bagian cair dari limbah kamar mandi, cuci, dapur, dan limpahan air dari tangki septik, sehingga salurannya harus bebas zat padat. Saluran ini tidak dirancang untuk *self cleansing*, dari segi ekonomis ini lebih murah dibandingkan dengan sistem konvensional.

Syarat yang harus dipenuhi untuk penerapan sistem ini yaitu (DPU, 1993) :

- Suplai air bersih yang tinggi untuk penggelontoran
- Diameter pipa minimal 50 mm karena tidak membawa padatan
- Aliran dalam pipa dapat bervariasi
- *Slope* pipa tidak harus didesain untuk memenuhi *self-cleansing* (0,6 m/s) karena tidak membawa padatan.

2.4.2 Sistem Penyaluran Tercampur

Pada sistem ini, air limbah disalurkan bersama dengan limpasan air hujan dalam satu saluran tertutup. Dasar pertimbangan diterapkan sistem ini antara lain :

- Debit air hujan dan air limbah secara umum relatif kecil sehingga dapat disatukan
- Fluktuasi curah hujan dari tahun ke tahun relatif kecil

Kelebihan sistem ini adalah hanya memerlukan satu jaringan sistem penyaluran air limbah sehingga operasi dan pemeliharaannya akan lebih ekonomis. Konsentrasi pencemar dalam limbah akan berkurang karena adanya pengenceran dari air hujan. Sedangkan kelaumannya adalah memerlukan perhitungan debit air hujan dan air limbah yang cermat untuk perencanaan jaringan perpipaan. Karena saluran tertutup maka diperlukan ukuran riol yang berdiameter besar serta luas lahan yang cukup luas untuk menempatkan instalasi pengolahan air limbah.

2.4.3 Sistem Penyaluran Kombinasi

Sistem ini dikenal dengan istilah "*interceptor*" dimana air limbah dan air hujan disalurkan bersama-sama sampai tempat tertentu baik melalui saluran terbuka maupun saluran tertutup tetapi sebelum mencapai lokasi instalasi pengolahan antara air limbah dan air hujan dipisahkan melalui bangunan regulator.

Air limbah dimasukkan ke saluran pipa induk untuk disalurkan ke lokasi pembuangan akhir, sedangkan air hujan langsung dialirkan ke badan air penerima. Pada musim kemarau air limbah akan masuk seuruhnya ke pipa induk dan tidak akan mencemari badan air.

2.5 Penelitian dan Perencanaan Terdahulu

Penelitian dan perencanaan terdahulu berisikan mengenai penelitian dan perencanaan yang telah dilakukan oleh peneliti lain dan terkait dengan sistem pengolahan air limbah batik baik secara individual maupun komunal. Penelitian maupun perencanaan terdahulu dapat membantu dalam menentukan pengolahan yang dibutuhkan untuk limbah batik, dan juga dapat memperoleh pendekatan untuk kriteria yang digunakan dalam merencanakan IPAL untuk air limbah batik.

A. Potensi IPAL Skala Individu untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Batik di Pekalongan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui efisiensi pengolahan IPAL batik skala individu dalam menurunkan kadar pencemar limbah cair batik melalui proses koagulasi-flokulasi, dan filtrasi dengan media pasir. Dalam penelitian ini, digunakan beberapa koagulan yang berbeda antara lain : kapur 10% dosis 50 ppm; koagulan AFC tipe 142 10% dosis 200 ppm; polimer konsentrasi 1% dosis 1 ppm. Dari hasil penelitian tersebut, dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Muljadi (2011) dengan koagulan yang digunakan adalah alumunium sulfat dan ferro sulfat, dan diperoleh hasil bahwa koagulan yang digunakan dalam penelitian (kapur, AFC, dan polimer) menghasilkan efisiensi untuk COD yang berkisar antara 95%-96%, sedangkan dengan koagulan alumunium sulfat dan ferro sulfat menghasilkan efisiensi untuk COD yang berkisar antara 62%-66%. (Priadie, 2016)

B. Pemilihan Desain Instalasi Pengelolaan Air Limbah Batik yang Efektif dengan Menggunakan Metode Life Cycle Cost

Penelitian ini merupakan studi kasus yang dilakukan di Kampung Batik Semarang. Dimana kampung ini belum memiliki instalasi pengolahan air limbah, dan diketahui berdasar penelitian yang dilakukan bahwa kadar BOD dan COD limbah tersebut tidak memenuhi baku mutu yang ada. Alternatif IPAL yang akan dibandingkan disini adalah penggunaan pengolahan secara fisik-kimia, dengan pengolahan secara elektro-koagulasi. Alternatif IPAL tersebut dibandingkan dengan menggunakan metode *life cycle cost*. *Life cycle cost* sendiri adalah biaya yang bersangkutan dengan produk selama daur hidupnya yang meliputi biaya pengembangan, biaya produksi, dan biaya dukungan logistik. Diperoleh hasil bahwa dengan metode fisik-kimia (rangkaian proses : sedimentasi, koagulasi-flokulasi secara kimia, lalu absorpsi dengan karbon aktif) memperoleh hasil efektifitas untuk penurunan COD sebesar 72,7%, sedangkan metode elektrokoagulasi (rangkaian proses : sedimentasi, elektrokoagulasi, lalu absorpsi dengan karbon aktif) memperoleh hasil efektifitas untuk penurunan COD sebesar 89%. Sedangkan dari segi biaya, untuk *capital expenditure* pada proses fisik-kimia adalah sebesar Rp. 2.556.820,00 per tahun; *operational expenditure* sebesar Rp. 4.690.173,00 per tahun; maka *social cost* yang harus dikeluarkan oleh tiap UKM di Kampung Batik Semarang adalah sebesar Rp. 905.874,00 per tahun. Untuk proses elektrokoagulasi, biaya untuk *capital expenditure* yang dibutuhkan adalah sebesar Rp. 3.711.967,00 per tahun; *operational expenditure* sebesar Rp. 4.365.329,00 per tahun; maka *social cost* yang harus dikeluarkan oleh tiap UKM di Kampung Batik Semarang adalah sebesar Rp. 1.090.662,00 per tahun (Marita dan Hartini, 2015).

C. Gabungan Metode Aerasi dan Adsorbsi dalam Penurunan Fenol dan COD pada Limbah Cair UKM Batik di Kabupaten Sragen

Penelitian dilakukan dengan menggunakan 3 macam ketebalan bed karbon aktif, yaitu 40 cm; 60 cm; dan 80 cm. Lalu diperoleh hasil penurunan untuk parameter COD dan fenol sebagai berikut :

Tabel 2.7. Hasil Penelitian Penurunan COD dan Fenol dengan Karbon Aktif

Ketebalan Karbon Aktif (cm)	Penurunan COD (%)	Penurunan Fenol (%)
40	63,23	75,66
60	56,45	75,46
80	84,71	75,69

D. An efficient and economical treatment for batik textile wastewater containing high levels of silicate and organic pollutants using a sequential process of acidification, magnesium oxide, and palm shellbased activated carbon application

Dalam penelitian ini, air limbah yang diteliti adalah air limbah batik dari pabrik Dagang Batikraf yang berlokasi Kelantan, Malaysia. Air limbah batik ini diproses melalui 3 tahap yaitu asidifikasi (penambahan HCl); penambahan magnesium oxide sebanyak 2 tahap; lalu proses adsorpsi dengan karbon aktif dari cangkang kelapa. Dan diperoleh hasil bahwa ketiga proses tersebut dapat mereduksi kadar COD sebesar 95%; reduksi kadar silica sebesar 45-55%; dan reduksi logam berat sebesar 90% (Birgani *et.al*, 2016)

E. Simulated textile (batik) wastewater pre-treatment through application of a baffle separation tank

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi penurunan logam dan COD dengan menggunakan tangki pemisahan bersekat (*baffle separation tank*), dengan beberapa sampel limbah batik baik setiap warna maupun warna campuran, yaitu sebagai berikut (Rashidi *et al*, 2015) :

Tabel 2.8. Macam jenis sampel limbah warna yang digunakan

No.	Tipe Limbah	Warna	Kode
1	Satuan	Reactive yellow 145	Y
2	Satuan	Reactive blue 15	TB
3	Satuan	Reactive orange 16	O
4	Satuan	Reactive red 194	R
5	Satuan	Reactive black 5	NB
6	Campuran	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15	M2

No.	Tipe Limbah	Warna	Kode
7	Campuran	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16	M3
8	Campuran	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16 & Reactive red 194	M4
9	Campuran	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16 & Reactive red 194 & Reactive black 5	M5

Dari hasil penelitian, diperoleh efisiensi pengurangan COD dengan tangki pemisahan bersekat yaitu sebagai berikut.

Tabel 2.9. Hasil Penelitian dengan *Baffle Separation Tank* (Removal COD)

No.	Sampel Pewarna	Sebelum perlakuan (mg/L)	Setelah perlakuan (mg/L)	Removal COD (%)
1	Reactive yellow 145	1350	1300	3,7
2	Reactive blue 15	1500	1420	5,3
3	Reactive orange 16	1410	1350	4,3
4	Reactive red 194	1400	1340	4,3
5	Reactive black 5	1475	1390	5,7
6	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15	1435	1340	6,6
7	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16	1390	1295	6,8
8	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16 & Reactive red 194	1295	1210	6,6
9	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange	1365	1255	8

No.	Sampel Pewarna	Sebelum perlakuan (mg/L)	Setelah perlakuan (mg/L)	Removal COD (%)
	16 & Reactive red 194 & Reactive black 5			

Dapat disimpulkan dari tabel di atas, bahwa rata-rata penurunan COD limbah batik pada tangka pemisah bersekat (*baffle separation tank*) adalah 5,5 – 5,9%, dan efisiensi juga bergantung kepada jenis sample yang digunakan.

Tabel 2.10. Hasil Penelitian dengan *Baffle Separation Tank* (Removal Kadmium (Cd))

No.	Sampel Pewarna	Sebelum perlakuan (mg/L)	Setelah perlakuan (mg/L)	Removal Cd (%)
1	Reactive yellow 145	0,0004	0	99,9
2	Reactive blue 15	0,0014	0,001	28,5
3	Reactive orange 16	0,0023	0,002	13,04
4	Reactive red 194	0,0018	0,0001	94,4
5	Reactive black 5	0,00084	0,0008	4,8
6	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15	0,0004	0	99,9
7	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16	0,0009	0,00001	98,9
8	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16 & Reactive red 194	0,0006	0,00001	98,3
9	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16 & Reactive red	0,0007	0,00003	95,7

No.	Sampel Pewarna	Sebelum perlakuan (mg/L)	Setelah perlakuan (mg/L)	Removal Cd (%)
	194 & Reactive black 5			

Dapat disimpulkan dari tabel di atas, bahwa rata-rata penurunan logam Cd limbah batik pada tangka pemisah bersekat (*baffle separation tank*) adalah 70 – 71,8%, dan efisiensi juga bergantung kepada jenis sample yang digunakan.

Tabel 2.11. Hasil Penelitian dengan *Baffle Separation Tank* (Removal Seng (Zn))

No.	Sampel Pewarna	Sebelum perlakuan (mg/L)	Setelah perlakuan (mg/L)	Removal Zn (%)
1	Reactive yellow 145	0,1695	0,1584	6,5
2	Reactive blue 15	0,1741	0,1547	11,14
3	Reactive orange 16	0,1521	0,1386	8,9
4	Reactive red 194	0,1792	0,1658	7,5
5	Reactive black 5	0,195	0,1771	9,2
6	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15	0,0515	0,0426	17,3
7	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16	0,0519	0,0439	15,4
8	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16 & Reactive red 194	0,0521	0,0451	13,4
9	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16 & Reactive red 194 & Reactive black 5	0,0525	0,0493	6,1

Dapat disimpulkan dari tabel di atas, bahwa rata-rata penurunan logam Zn limbah batik pada tangka pemisah bersekat (*baffle separation tank*) adalah 10,4 – 10,8%, dan efisiensi juga bergantung kepada jenis sample yang digunakan.

Tabel 2.12. Hasil Penelitian dengan *Baffle Separation Tank* (Removal Tembaga (Cu))

No.	Sampel Pewarna	Sebelum perlakuan (mg/L)	Setelah perlakuan (mg/L)	Removal Cu (%)
1	Reactive yellow 145	0	0	0
2	Reactive blue 15	0,198	0,196	1
3	Reactive orange 16	0	0	0
4	Reactive red 194	0	0	0
5	Reactive black 5	0	0	0
6	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15	0,0768	0,0545	29,04
7	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16	0,0543	0,0489	9,9
8	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16 & Reactive red 194	0,0449	0,0324	27,8
9	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16 & Reactive red 194 & Reactive black 5	0,0413	0,0306	25,9

Dapat disimpulkan dari tabel di atas, bahwa rata-rata penurunan logam Cu limbah batik pada tangka pemisah bersekat (*baffle separation tank*) adalah 18,33 – 19,08%, dan efisiensi juga bergantung kepada jenis sample yang digunakan.

Tabel 2.13. Hasil Penelitian dengan *Baffle Separation Tank* (Removal Timbal (Pb))

No.	Sampel Pewarna	Sebelum perlakuan (mg/L)	Setelah perlakuan (mg/L)	Removal As (%)
1	Reactive yellow 145	0,0315	0,0312	0,96
2	Reactive blue 15	0,0334	0,032	4,2
3	Reactive orange 16	0,0251	0,024	4,4
4	Reactive red 194	0,0307	0,0229	25,4
5	Reactive black 5	0,0262	0,025	4,6
6	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15	0,0322	0,031	3,7
7	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16	0,0326	0,031	4,9
8	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16 & Reactive red 194	0,0311	0,0304	2,25
9	Reactive yellow 145 & Reactive blue 15 & Reactive orange 16 & Reactive red 194 & Reactive black 5	0,0317	0,0311	1,89

Dapat disimpulkan dari tabel di atas, bahwa rata-rata penurunan logam Pb limbah batik pada tangka pemisah bersekat (*baffle separation tank*) adalah 5,68 – 5,92%, dan efisiensi juga bergantung kepada jenis sample yang digunakan.

F. Primary treatment of dye wastewater using *aloe vera*-aided aluminium and magnesium hybrid coagulant

Dalam penelitian ini, dilakukan *treatment* terhadap limbah pewarna metilen-biru dengan menggunakan ALAV (Aluminium sulfat-*Aloe Vera*) dan MGAV (Magnesium sulfat-*Aloe Vera*). Lalu

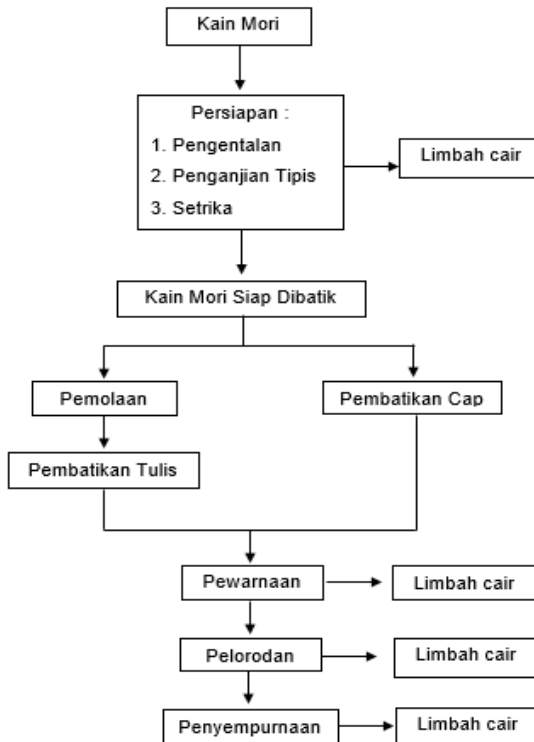
diperoleh hasil bahwa ALAV memiliki efisiensi sebesar 50-55% untuk mereduksi warna, dengan pH optimal 6 dan dosis 3000 mg/L; sedangkan MGAV mampu mereduksi warna sebesar 70% dengan pH optimal 12,5 dan dosis 3000 mg/L (Lee *et al*, 2015).

BAB 3

GAMBARAN UMUM DAERAH PERENCANAAN

3.1 Gambaran Umum Perencanaan

Pada tugas akhir ini dilakukan perencanaan IPAL untuk industri kecil-menengah batik pada skala komunal di daerah Pasirsari, Kota Pekalongan. Industri yang akan dirancang sebuah IPAL tersebut berfokus pada pengolahan tekstil batik. IPAL industri penghasil batik digunakan untuk mengolah limbah cair yang berasal dari proses kegiatannya, antara lain: pemolaan, pewarnaan/pencelupan, pelorodan/penghilangan lilin. Dapat dilihat pada Gambar 3.1 yaitu proses pengolahan yang terjadi pada industri terkait secara detail.



Gambar 3.1. Alur Proses Pembuatan Batik beserta Limbah dihasilkan

3.2 Gambaran Produksi Industri Batik

Industri kecil menengah batik di Pekalongan melakukan proses pada kain polos (tekstil) untuk dijadikan produk kain batik. Sebanyak rata-rata 40 kodi/minggu yang diproses oleh IKM di Pekalongan, dengan jumlah produk paling sedikit rata-rata sebesar 20 kodi/minggu dan terbanyak sebesar 60 kodi/minggu. Namun terdapat beberapa IKM yang bercakupan lebih besar dan memiliki kapasitas produksi lebih, yaitu produksi maksimum hingga 200 kodi/minggu dan minimum 40 kodi/minggu. Proses produksi berlangsung mulai pukul 08.00 hingga 16.00 WIB.

3.3 Gambaran Umum Daerah Perencanaan

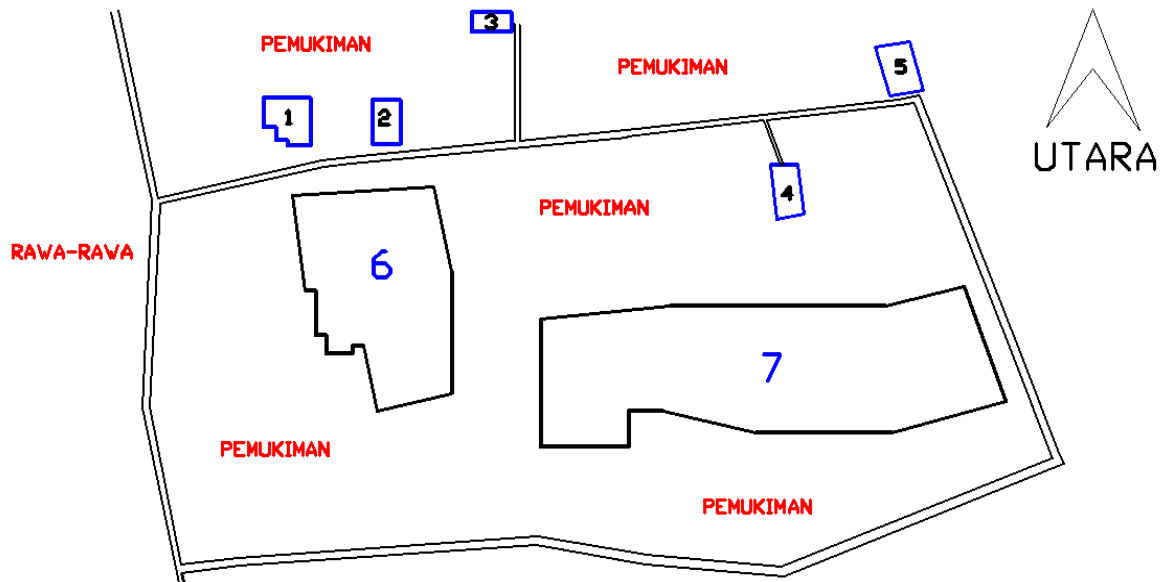
Perencanaan IPAL dilakukan di daerah Kecamatan Pekalongan Barat, Pekalongan yaitu tepatnya di Kompleks Pasirsari. Dapat dilihat lokasi perencanaan IPAL pada Gambar 3.2. Kecamatan Pekalongan Barat dibatasi oleh wilayah berikut:

Sebelah utara	: Kecamatan Pekalongan Utara
Sebelah timur	: Kecamatan Pekalongan Barat
Sebelah selatan	: Kecamatan Pekalongan Selatan
Sebelah barat	: Kabupaten Pekalongan

Berdasarkan hasil survei lapangan, dapat digambar denah lokasi daerah perencanaan IPAL komunal industri kecil menengah batik seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2. Lokasi IKM Batik untuk Perencanaan IPAL Komunal
(Sumber : Google Earth)



Gambar 3.3. Sketsa Denah Lokasi IKM Batik

Keterangan :

- 1-5 : IKM 1-5
- 6 : Lahan Makam (luas 4,4 ha)
- 7 : Lahan Kosong (luas 6 ha)

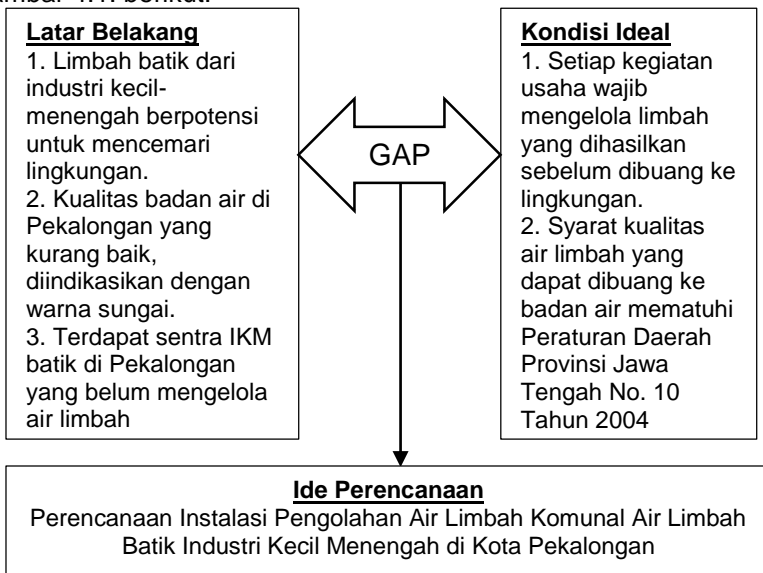
BAB 4 METODE PERENCANAAN

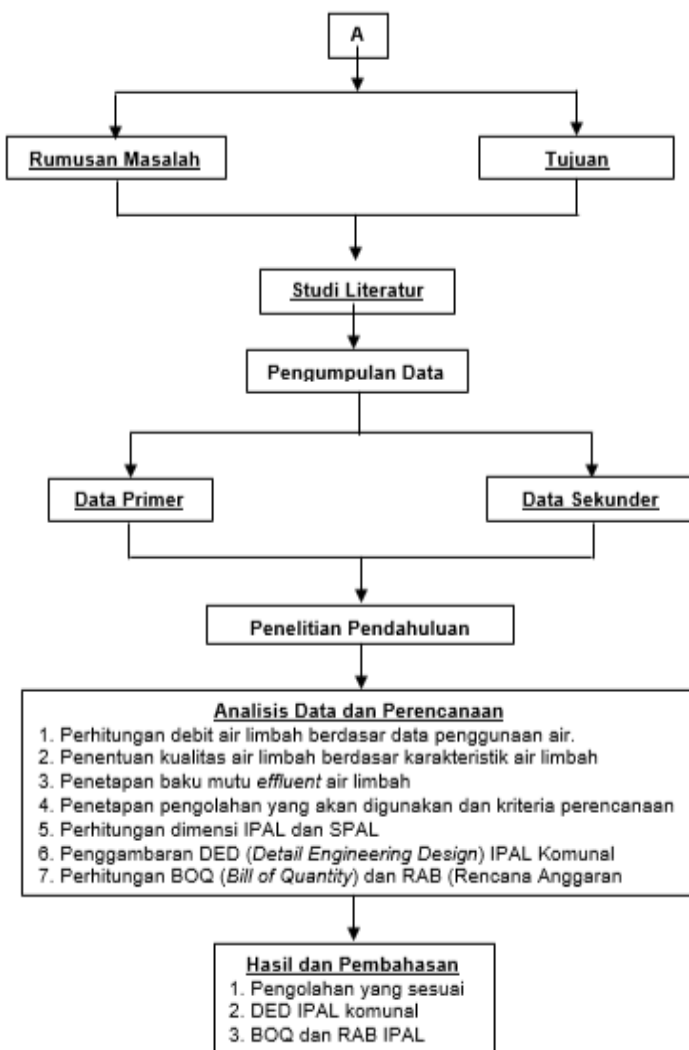
4.1 Kerangka Perencanaan

Metode perencanaan ini disusun dalam bentuk kerangka perencanaan, yaitu alur atau prosedur dalam perencanaan yang akan dilaksanakan. Kerangka ini bertujuan untuk :

1. Sebagai gambaran awal tahap perencanaan, sehingga dapat memudahkan proses perencanaan.
2. Dapat mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan perencanaan, agar tujuan dari perencanaan tercapai dan lebih mudah dalam memahami tentang perencanaan yang dilakukan.
3. Sebagai pedoman awal dalam pelaksanaan perencanaan sehingga dapat meminimalisasi kesalahan yang dapat terjadi.

Metode perencanaan diperlukan untuk dapat merencanakan instalasi pengolahan air limbah komunal bagi industri batik. Metode perencanaan dapat menjadi pedoman pada perencanaan ini untuk menjawab tujuan perencanaan. Penyusunan tahap perencanaan bertujuan penjabar alur atau langkah-langkah yang perlu ditempuh dalam perencanaan. Tahapan perencanaan yang akan dilakukan disajikan pada gambar 4.1. berikut.





Gambar 4.1 Tahapan Perencanaan

4.2 Rangkaian Kegiatan Perencanaan

Rangkaian kegiatan perencanaan terdiri dari penjelasan tahapan-tahapan kegiatan yang dilakukan selama pelaksanaan perencanaan ini. Rangkaian kegiatan perencanaan dijelaskan sebagai berikut:

1. Ide Perencanaan

Ide perencanaan diperoleh setelah mengetahui bahwa belum terdapat pengolahan limbah cair pada industri kecil menengah batik di Kecamatan Pekalongan Barat. Hal itu menyebabkan *effluent* limbah cair dari industri batik mencemari badan air sekitarnya. Idealnya limbah cair tersebut harus diolah terlebih dahulu agar memenuhi persyaratan yang ada sebelum dibuang ke badan air.

2. Rumusan Masalah dan Tujuan

Permasalahan yang akan dikaji dalam perencanaan ini adalah mengenai desain sistem pengelolaan air limbah yang tepat untuk limbah cair batik yang dihasilkan oleh industri kecil-menengah (IKM) di Kecamatan Pekalongan Barat, Kota Pekalongan, beserta dengan biaya yang diperlukan untuk menerapkan sistem pengelolaan yang telah dirancang.

Secara garis besar, perencanaan ini bertujuan untuk merencanakan sistem IPAL komunal limbah batik untuk IKM di Kecamatan Pekalongan Barat. Secara rinci, tujuan dari perencanaan ini adalah :

1. Menentukan tipe pengolahan air limbah yang sesuai untuk limbah cair batik yang dihasilkan oleh industri kecil-menengah (IKM) di daerah Pasirsari, Kecamatan Pekalongan Barat.

2. Merencanakan desain Sistem Pengolahan Air Limbah (IPAL) limbah batik industri kecil-menengah (IKM) daerah Pasirsari, Kecamatan Pekalongan Barat

3. Menghitung nilai *bill of quantity* (BOQ) dan rencana anggaran biaya (RAB)

3. Studi Literatur

Dilakukan studi literatur dengan tujuan untuk memperoleh teori pendukung tentang topik pengolahan limbah batik, sehingga dapat menjadi acuan dalam tugas akhir ini. Studi literatur digunakan dengan pencarian beberapa sumber literatur yang ada.

Sumber tersebut dapat berupa *text book*, jurnal, artikel, peraturan, laporan tugas akhir, tesis, maupun disertasi.

4. Pengumpulan Data

Pada tugas akhir ini, akan dilakukan pengumpulan data-data lengkap yang relevan dengan kebutuhan perencanaan, sehingga dapat dihasilkan perencanaan yang sesuai dengan kondisi lapangan. Pengumpulan data disesuaikan dengan jenis data yang dibutuhkan. Data-data yang dikumpulkan yaitu data primer dan sekunder.

a. Data Primer

Data primer didapatkan melalui survei di lapangan, *sampling* limbah batik, pengamatan, wawancara dan pengukuran terhadap elevasi lahan. Untuk elevasi lokasi perencanaan, diketahui dengan *google earth* dan dipastikan ulang dengan GPS. Berikut adalah penjelasan lebih lengkapnya:

- Kualitas air limbah industri batik. Data ini didapatkan melalui *sampling* lalu dilakukan analisis laboratorium. Parameter yang diukur adalah BOD, COD, TSS, pH, warna, fenol, serta logam. Metode analisis parameter air limbah dapat dilihat pada Tabel 3.1. sedangkan untuk prosedur analisis laboratorium akan dirujuk pada lampiran. *Sampling* air limbah dilakukan untuk mengetahui debit dan karakteristik air limbah. Cara melakukan *sampling* akan mengikuti peraturan SNI 6989.59:2008 tentang Metoda Pengambilan Sampel Air Limbah. Teknik pengambilan sampel yang dipilih adalah metode *Grab Sampling*. Sampel air limbah industri batik diambil pada bagian pembuangan. Bagian pembuangan tersebut berisi air yang berasal dari buangan setelah pencelupan, pencantingan, pelorodan, dan pewarnaan. Pengambilan sampel dilakukan pada rentang waktu pagi hingga sore hari (10 jam) sesuai dengan waktu produksi, sebanyak 1 kali pengambilan. Sampel dibawa ke Laboratorium Pemulihan Air Departemen Teknik Lingkungan ITS untuk dianalisis.

Tabel 4.1 Metode Analisis Parameter Air Limbah

No	Parameter	Metode Pengujian	SNI
1	BOD	Winkler	SNI 6989.72:2009
2	COD	Titrimetri	SNI 6989.73:2009
3	TSS	Gravimetri	SNI 06.6989.3:2004
4	pH	pH-meter	SNI 06.6989.11:2004
5	Timbal (Pb)	Spektrofotometri Serapan Atom	SNI 06.6989.8:2004
6	Tembaga (Cu)	Spektrofotometri Serapan Atom	SNI 6989.66:2009
7	Kadmium (Cd)	Spektrofotometri Serapan Atom	SNI 6989.16:2009
8	Seng (Zn)	Spektrofotometri Serapan Atom	SNI/ 6989.7:2009
9	Krom (Cr)	Spektrofotometri Serapan Atom	SNI/ 19.6989.17:2009
10	Fenol	Spektrofotometri ICS	SNI/ 06-6989.21-2004

- Kuantitas air limbah industri batik. Kuantitas air limbah diperoleh berdasarkan hasil pengukuran menggunakan gelas ukur dari setiap kegiatan yang menghasilkan air limbah. Selain itu juga dilakukan pengukuran debit air limbah dari setiap IKM batik tersebut. Debit air limbah didapatkan dari 50-70% jumlah air bersih yang digunakan selama proses produksi per harinya, jika IKM menggunakan layanan PDAM. Jika tidak, debit limbah diperkirakan melalui pompa air sumur yang ada disertai dengan survei (terlampir), sekaligus pengukuran bak penampung air yang digunakan dalam melakukan produksi batik. Debit air limbah ini memiliki satuan yaitu m^3/hari .

b. Data Sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan dalam tugas akhir perencanaan ini adalah:

- Baku mutu air limbah industri
Baku mutu *effluent* air limbah disesuaikan dengan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 10 Tahun 2004 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014. Perda Jawa Tengah tersebut mengatur mengenai Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri dan Usaha Lainnya untuk Industri Penghasil Tekstil, dan permen LH mengatur mengenai Baku Mutu Limbah Cair Industri Tekstil.
- Rangkaian SNI DT-2007
Rangkaian SNI DT-2007 meliputi beberapa tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan yang berbeda digunakan untuk perhitungan BOQ IPAL.
- Harga Bahan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Semarang Tahun 2017
Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Semarang tahun 2017 digunakan sebagai acuan Perhitungan RAB pembangunan IPAL. HSPK ini disesuaikan dengan harga pasar.

5. Penelitian Pendahuluan

Penelitian laboratorium dilakukan sebagai dasar dari perencanaan. Penelitian meliputi uji sedimentasi 1 dan uji koagulasi-flokulasi. Metode dari penelitian yang dilakukan sendiri adalah sebagai berikut.

- Uji Pengendapan
Pada proses sedimentasi, diketahui bahwa total *removal* akan diperoleh dari jumlah keseluruhan partikel yang mengendap. Besarnya partikel yang mengendap sendiri dapat diperoleh dengan uji laboratorium, yaitu dilakukan dengan cara memasukkan sample air limbah ke dalam reaktor bervolume 10 L. Kemudian diamati selama waktu yang sesuai dengan waktu detensi dari bangunan sedimentasi 1.
Data yang akan diperoleh dari percobaan laboratorium ini adalah jumlah (konsentrasi) partikel yang terdapat

dalam sampel yang diambil dalam ini waktu tertentu. Konsentrasi awal telah diuji sebelumnya, dan dari hasil uji konsentrasi akhir dapat diketahui kemampuan pengendapan 1. Selanjutnya dihitung kecepatan pengendapan partikel pada waktu pengambilan.

Pada uji pengendapan ini, jika terdapat endapan yang melayang di permukaan air, maka akan dilakukan uji flotasi, karena hal tersebut menandakan bahwa partikel diskrit dalam air limbah tidak dapat diendapkan dengan gaya gravitasi.

- *Jar Test* (Uji Koagulasi-Flokulasi)

Dalam penelitian pendahuluan ini, dipilih dua jenis koagulan dengan mempertimbangkan harga, kemudahan penanganan dan penyimpanan, dan ketersediaan di pasar, yaitu Aluminium Sulfat dan PAC (Polyaluminium Chloride). Percobaan dilakukan dengan dosis yang berbeda untuk masing-masing koagulan dilakukan dengan percobaan koagulasi-flokulasi menggunakan alat *Jar Test*. Sejumlah volume air limbah ditambahkan dengan koagulan sesuai dosis yang telah ditentukan kemudian dilakukan pengadukan cepat (rapid mixing) selama 1 menit dengan tujuan untuk mencampur koagulan dengan air sehingga terjadi netralisasi muatan koloid oleh koagulan (proses koagulasi). Selanjutnya dilakukan pengadukan lambat (slow mixing) agar partikel-partikel tersebut bergabung satu sama lain membentuk flok yang lebih besar (flokulasi). Untuk tiap jenis koagulan, gelas kimia masing-masing berisi 1 L contoh air limbah diletakkan pada *Jar-Test* dan ditambahkan koagulan masing-masing dengan dosis variasi. Pengadukan mula-mula dilakukan pada kecepatan kurang lebih 100 rpm selama 1 menit, dilanjutkan dengan kecepatan kurang lebih 50 rpm selama 10 menit, kemudian dibiarkan selama beberapa saat tanpa pengadukan untuk membiarkan flok mengendap. Setelah flok mengendap, sebanyak 500 mL supernatan dari sampel diambil, lalu diberi penambahan kapur (Ca(OH)_2) agar pH kembali bersifat netral – basa (jika diperlukan), karena

berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Amalina, dkk (2015) bahwa pH optimum untuk pengendapan logam adalah pada pH 7-8. Pengamatan meliputi waktu pengendapan, banyaknya endapan yang terbentuk, warna, kandungan BOD, COD, TSS, fenol, serta logam berat dalam sampel air setelah padatan terendapkan.

- **Pengolahan Lanjutan**

Kebutuhan untuk adanya pengolahan lanjutan akan diketahui setelah dilakukannya uji kualitas sampel air setelah perlakuan koagulasi-flokulasi. Jika terdapat parameter yang belum memenuhi baku mutu, maka dilakukan pengolahan lanjutan dengan mempertimbangkan jenis parameter yang belum dipenuhi. Jika parameter yang belum terpenuhi adalah BOD, COD, maupun TSS, maka direncanakan adanya pengolahan lanjutan secara biologis, namun rasio BOD/COD dari air limbah akan diuji terlebih dahulu jika rasio lebih dari 0,5 maka dapat dilakukan pengolahan biologis. Namun jika parameter yang belum terpenuhi ialah fenol dan logam berat, direncanakan pengolahan lanjutan filtrasi, atau dengan adsorpsi dengan karbon aktif.

6. Analisis Data dan Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal

Perencanaan dilakukan berdasarkan data-data yang telah didapatkan, baik data primer maupun sekunder. Keluaran dari perencanaan ini adalah gambar rencana IPAL, *Bill of Quantity* (BOQ), Rencana Anggaran Biaya (RAB), dan *Standard Operational and Procedure* (SOP). Langkah-langkah perencanaan IPAL komunal industri batik yaitu:

- a. Menganalisis kualitas dan kuantitas limbah industri batik skala komunal
- b. Pemilihan tipe pengolahan serta kriteria perencanaan berdasar penelitian
- c. Menggambarkan diagram alir proses IPAL
- d. Menghitung kesetimbangan massa (*mass balance*)
- e. Menyusun *Engineering Design* yang meliputi perhitungan dimensi dan gambar jaringan SPAL, dimensi dan gambar bangunan IPAL

Penyusunan *Engineering Design* berhubungan dengan perhitungan matematis dimensi dari masing-masing jaringan pipa SPAL dan unit IPAL yang direncanakan. Dalam perhitungan dimensi jaringan pipa, dilakukan perhitungan debit yang akan memasuki tiap segmentasi jaringan, serta dihitung kemiringan dari lokasi perencanaan. Baik perhitungan debit dan kemiringan akan berpengaruh pada besarnya diameter pipa penyalur limbah yang dibutuhkan. Sedangkan dalam penentuan dimensi bangunan IPAL, sebelumnya dilakukan terlebih dahulu perhitungan efisiensi penyisihan parameter pencemar. Efisiensi penyisihan ini digunakan dalam menghitung kesetimbangan massa dari IPAL. Kesetimbangan massa menentukan jumlah zat pencemar yang disisihkan, beban air limbah terolah, dan jumlah lumpur yang terbentuk. Setelah didapatkan dimensi IPAL dilakukan penggambaran detail tiap unitnya. Gambar detail ini berupa gambar denah bangunan, potongan memanjang dan melintang bangunan, dan gambar detail bangunan maupun komponen pendukung IPAL. Penggambaran ini dilakukan menggunakan *software autocad 2007* dengan skala yang telah disesuaikan. Gambar detail yang tepat dapat mempermudah perhitungan volume pekerjaan yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam menghitung BOQ dan RAB.

- f. Merencanakan *layout* bangunan IPAL
- g. Merencanakan profil hidrolis SPAL dan IPAL
- h. Membuat BOQ dan RAB yang dibutuhkan untuk pembuatan IPAL komunal

Perhitungan BOQ dan RAB untuk pembuatan IPAL pada perencanaan ini dilakukan berdasarkan hasil perhitungan dimensi unit-unit pengolahan limbah. Selain itu, perhitungan BOQ pembangunan IPAL mengacu pada rangkaian SNI DT-2007 meliputi tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan yang berbeda. Perhitungan RAB pembangunan IPAL mengacu pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Semarang tahun 2017 yang telah disesuaikan dengan harga pasar yang berlaku di masyarakat.

7. Hasil Perencanaan

Hasil perencanaan diperoleh dari analisis data dan perencanaan yang telah dilakukan. Berdasarkan analisis data dan pembahasan, dapat ditarik suatu kesimpulan yang menjawab tujuan perencanaan. Saran diberikan berkenaan dengan pengembangan ataupun tindak lanjut dari kesimpulan tugas akhir ini. Kesimpulan yang dibuat meliputi:

- a. Kualitas dan kuantitas air limbah industri batik skala komunal
- b. Desain IPAL untuk mengolah air limbah industri batik skala komunal
- c. SOP operasi dan pemeliharaan IPAL industri batik skala komunal
- d. RAB pembangunan IPAL pada industri batik skala komunal

BAB 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Gambaran Umum Industri Batik

Perencanaan ini dilakukan pada kawasan industri kecil menengah batik di di kelurahan Pasirsari. Dimana seluruh IKM yang terdapat di daerah ini memproduksi kain batik.



Gambar 5.1. Tempat Proses Produksi Batik IKM 3

Dalam proses produksinya, IKM batik di daerah Pasirsari menggunakan bahan baku kain mori dan sutra yang diperoleh dari sentra tekstil lokal. Bahan baku kain tersebut selanjutnya akan melalui beberapa proses, seperti pencantingan motif dan pewarnaan kain.

Kelima IKM batik tersebut belum memiliki instalasi pengolahan air limbah. Setiap IKM hanya memiliki bak untuk menampung sementara limbah yang dihasilkan. Limbah cair yang tidak ditangani tersebut sangat berpotensi untuk mencemari lingkungan sekitar.

5.2. Debit dan Kualitas Air Limbah Batik

5.2.1. Perhitungan Debit Air Limbah

Debit air limbah dihitung berdasarkan bak penampung air buangan yang telah dimiliki oleh setiap IKM. Volume bak dan waktu pembuangan akan menentukan besarnya debit limbah dihasilkan tiap IKM. Jika terdapat IKM yang tidak menampung limbahnya di bak, diperkirakan dari pompa yang digunakan khusus untuk produksi batik. Berikut merupakan tabel perhitungan air limbah batik.

Tabel 5.1. Perhitungan Debit Air Limbah IKM Batik

No.	Kegiatan	Jumlah Bak/Pompa	Volume bak / %Debit	Pembuangan Pukul 10.00	Pembuangan Pukul 13.00	Pembuangan Pukul 16.00	Debit Limbah (m3/hari)	Debit Limbah Max (m3/jam)
IKM 1								
1	Seluruh kegiatan	18 liter/menit	80%	6.912	6.912	6.912	20.74	2.304
IKM 2								
1	Pencucian	2 bak (3x pembuangan)	3.5 m3	7	7	7	21	2.333
2	Pewarnaan	1 bak	3.5 m3	1.17	1.17	1.17	3.5	0.389
3	Pelordan	1 bak (3x pembuangan)	3.5 m3	3.5	3.5	3.5	10.5	1.167
Total Debit IKM 2							35	3.89
IKM 3								
1	Pencucian	1 bak (2x pembuangan)	3 m3	0	3	3	6	1.000
2	Pewarnaan	1 bak (2x pembuangan)	1 m3	0	1	1	2	0.333
3	Pelordan	1 bak (2x pembuangan)	3 m3	0	3	3	6	1.000
Total Debit IKM 3							14	2.33
IKM 4								
1	Pencucian	1 bak (2x pembuangan)	2.4 m3	0	2.4	2.4	4.8	0.800
2	Pewarnaan	1 bak (2x pembuangan)	2.4 m3	0	2.4	2.4	4.8	0.800
3	Pelordan	1 bak (2x pembuangan)	2.4 m3	0	2.4	2.4	4.8	0.800
Total Debit IKM 4							14.4	2.40
IKM 5								
1	Pencucian	1 bak (3x pembuangan)	1.05 m3	1.05	1.05	1.05	3.15	0.350
2	Pewarnaan	1 bak (3x pembuangan)	50 liter	0.05	0.05	0.05	0.15	0.017
3	Pelordan	1 bak (3x pembuangan)	1.05 m3	1.05	1.05	1.05	3.15	0.350
Total Debit IKM 5							6.45	0.72
TOTAL DEBIT AIR LIMBAH				20.73	34.93	34.93	90.59	11.64

Debit air limbah yang dihasilkan dari proses industri seluruh IKM batik adalah 90,59 m³/hari pada saat produksi batik rata-rata, yaitu hampir setiap harinya, dimana IKM beroperasi selama 7 hari dalam 1 minggu, dengan waktu operasional 8 jam per hari. Namun pada perencanaan ini debit yang digunakan adalah debit pembuangan maksimum pada pukul 16.00, yaitu sebesar 11,64 m³/jam.

5.2.2. Penelitian Laboratorium untuk Pemilihan Unit Pengolahan Rangkaian instalasi pengolahan air limbah yang dibutuhkan dalam perencanaan ini didasarkan pada pengamatan yang dilakukan dalam skala laboratorium. Cara pengambilan sampel yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan cara *grab sampling*, yaitu sampel diambil langsung dari lokasi yang dipantau. Dalam melakukan sampling pada perencanaan ini, ditentukan bahwa jumlah sampel dibutuhkan sebanyak 10 liter. Maka dari debit yang telah diketahui, dihitung perbandingan debit limbah tiap IKM dengan debit total dan diperoleh kebutuhan air limbah yang harus diambil agar sampel bersifat representatif. Berikut merupakan perhitungan jumlah air limbah sampel yang diambil dari masing-masing IKM.

- IKM 1 (liter) = $\frac{20,74 \text{ m}^3/\text{hari}}{90,59 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 10 \text{ L} = 2,3 \text{ L}$
- IKM 2 (liter) = $\frac{35 \text{ m}^3/\text{hari}}{90,59 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 10 \text{ L} = 3,9 \text{ L}$
- IKM 3 (liter) = $\frac{14 \text{ m}^3/\text{hari}}{90,59 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 10 \text{ L} = 1,5 \text{ L}$
- IKM 4 (liter) = $\frac{14,4 \text{ m}^3/\text{hari}}{90,59 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 10 \text{ L} = 1,6 \text{ L}$
- IKM 5 (liter) = $\frac{6,45 \text{ m}^3/\text{hari}}{90,59 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 10 \text{ L} = 0,7 \text{ L}$

Sampel diawetkan dengan cara pendinginan agar nilai BOD dan COD tidak rusak walaupun telah lebih dari 6 jam didiamkan. Selanjutnya dilakukan uji pengendapan untuk melihat apakah diperlukan unit fisik sedimentasi 1 pada awal pengolahan, dan dilakukan uji *jar test* untuk melihat jenis dan dosis koagulan yang optimum dan efektif untuk mengolah limbah batik dihasilkan.

Dilakukan pengendapan air limbah pada suatu reaktor selama 3 jam. Diperoleh hasil seperti berikut.



Gambar 5.2. Uji Pengendapan Limbah

Dari hasil uji pengendapan, diketahui bahwa tidak terdapat endapan mengendap ataupun melayang. Sehingga pengolahan secara fisik tidak diperlukan pada awal pengolahan.

Selanjutnya dilakukan uji *jar test* dengan menggunakan koagulan aluminium sulfat dan PAC (*polyaluminium chloride*) dengan penambahan dosis bervariasi. Penentuan dosis yang diperkirakan masuk pada rentang optimum sendiri diperoleh berdasarkan pada uji yang telah dilakukan, dengan adanya 5 variasi dosis yang menjadi pembatas untuk rentang 100 – 1000 mg/L.

Sebelum dilakukan uji *jar test*, dilakukan pengecekan pada nilai pH air limbah awal, untuk mengetahui apakah diperlukan adanya pengondisian air (penyesuaian pH).

Uji *jar test* dilakukan dengan pengadukan cepat (100 rpm) selama 1 menit, lalu pengadukan lambat (50 rpm) selama 15 menit. Kemudian flokulen yang telah terbentuk dibiarkan selama 40 menit hingga mengendap sempurna. Penentuan dosis efektif yang diterapkan dalam perencanaan ini, akan dilakukan berdasarkan hasil dari uji TSS yang dilakukan.



(a)



(b)

Gambar 5.3 (a) dan (b). Uji Jar Test

Setelah dilakukan uji *jar test*, dilakukan pengukuran pH sampel, serta pengukuran nilai TSS. Selain itu juga dilakukan pengamatan secara fisik kasat mata terhadap perubahan warna yang ada. Diperoleh hasil pengukuran TSS sebagai berikut.

Tabel 5.2. Hasil Pengukuran Nilai TSS pada Sampel

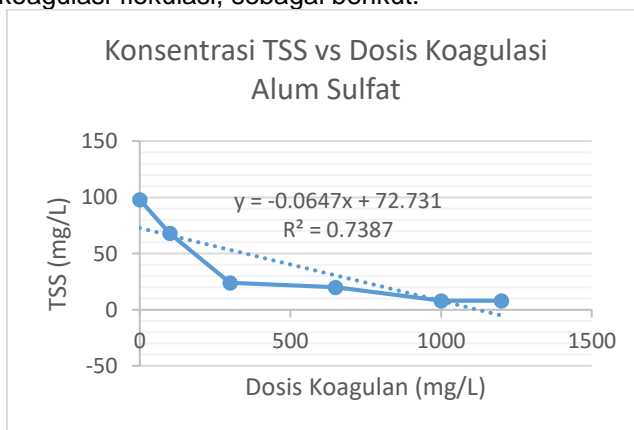
Jenis Sampel berdasar Perlakuan	Hasil Uji <i>Suspended Solids</i> (mg/L)		pH sampel
	Uji Pertama	Duplo	
Limbah Batik Awal	98	98	9,43
Al. Sulfat 100 mg/L	68	68	8,61
Al. Sulfat 300 mg/L	24	24	7,11
Al. Sulfat 650 mg/L	20	20	6,66
Al. Sulfat 1000 mg/L	8	8	5,32

Al. Sulfat 1200 mg/L	8	8	4,13
PAC 100 mg/L	72	72	4,81
PAC 250 mg/L	32	32	4,57
PAC 600 mg/L	24	24	4,42
PAC 900 mg/L	8	8	4,32
PAC 1100 mg/L	8	8	4,11

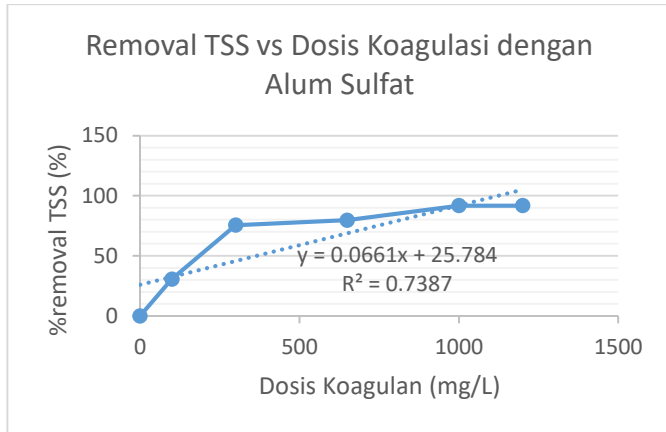


Gambar 5.4. Uji pH sampel

Secara kasat mata, warna sampel setelah penambahan koagulan aluminium sulfat adalah bening keabu-abuan, sedangkan koagulan PAC menghasilkan warna bening kecoklatan. Lalu dosis koagulan optimum diperoleh berdasarkan grafik penurunan konsentrasi TSS dan removal yang dihasilkan oleh proses koagulasi-flokulasi, sebagai berikut.

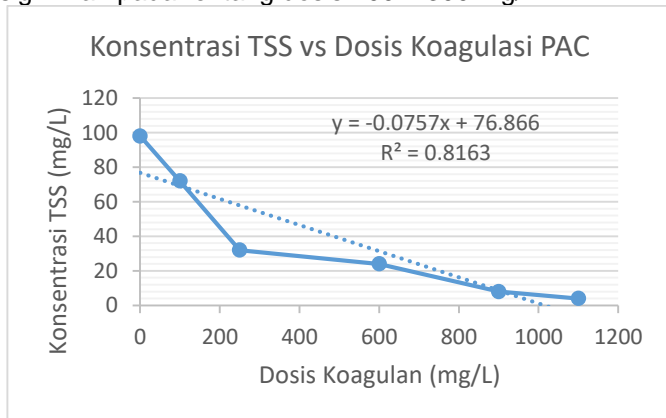


Gambar 5.5. Grafik Konsentrasi TSS dengan Pembubuhan Aluminium Sulfat

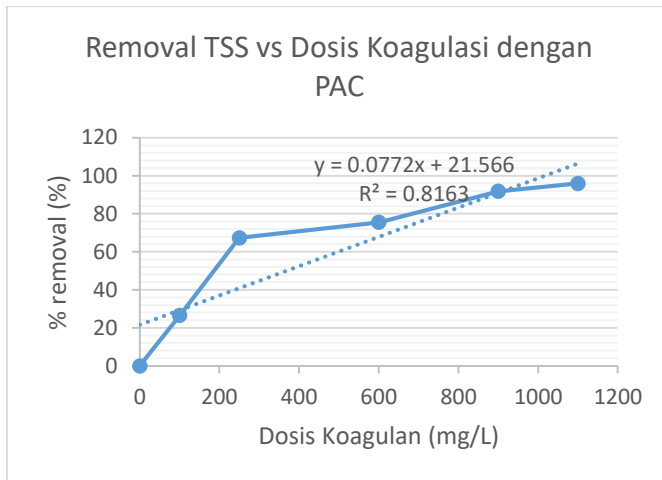


Gambar 5.6. Grafik %Removal TSS dengan Aluminium Sulfat

Berdasar kedua grafik di atas dapat disimpulkan bahwa dosis optimum koagulan aluminium sulfat adalah sebesar 300 mg/L, yaitu dengan konsentrasi TSS 24 mg/L dan %removal yang dihasilkan sebesar 75,5%. Penurunan konsentrasi TSS terjadi secara signifikan pada rentang dosis 100 – 300 mg/L.



Gambar 5.7. Grafik Konsentrasi TSS dengan Pembubuhan PAC



Gambar 5.8. Grafik %Removal TSS dengan PAC

Berdasar kedua grafik di atas dapat disimpulkan bahwa dosis optimum koagulan PAC adalah sebesar 250 mg/L, yaitu dengan konsentrasi TSS 32 mg/L dan %removal yang dihasilkan sebesar 67,35%. Penurunan konsentrasi TSS terjadi secara signifikan pada rentang dosis 100 – 250 mg/L.

Maka disimpulkan berdasarkan karakteristik warna dan nilai TSS, bahwa jenis dan dosis koagulan yang cocok untuk diterapkan dalam perencanaan ini adalah aluminium sulfat 300 mg/L. Dikarenakan dalam memperoleh koagulan aluminium sulfat lebih mudah (lebih banyak terdapat di pasaran) dibanding dengan PAC. Selain itu harga aluminium sulfat juga lebih murah dibanding PAC. Berdasarkan hasil uji TSS pun, diketahui dengan penambahan aluminium sulfat 300 mg/L menghasilkan penurunan nilai TSS yang memenuhi baku mutu yang ada.

5.2.3. Kualitas dan Baku Mutu Air Limbah

Pengujian kualitas sampel dilakukan sebelum dan sesudah perlakuan, untuk mengetahui pengolahan apa saja yang dibutuhkan dalam perencanaan bangunan IPAL. Parameter yang diuji kualitasnya antara lain BOD, COD, fenol, dan logam berat (Pb,

Cd, Cr, Cu, Zn). Berikut merupakan hasil uji kualitas air limbah sebelum perlakuan dan setelah perlakuan.

Tabel 5.3. Hasil Uji Kualitas Air Limbah

Parameter	Limbah Awal (mg/L)	Koagulasi 300 mg/L Aluminium Sulfat (mg/L)	Koagulasi 650 mg/L Aluminium Sulfat (mg/L)
BOD	224	43	35
COD	430	82	66
Fenol	1,44	0,84	0,024
Logam Pb	0,165	MDL	MDL
Logam Cd	MDL	MDL	MDL
Logam Cr	MDL	MDL	MDL
Logam Cu	0,018	MDL	MDL
Logam Zn	0,085	0,764	0,596

Dan berikut merupakan dasar dari baku mutu untuk masing-masing parameter uji.

Tabel 5.4. Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Baku Mutu (mg/L)	Dasar Peraturan
TSS	50	Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 10 Th 2004
BOD	60	Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 10 Th 2004
COD	150	Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 10 Th 2004
Fenol	0,5	Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 10 Th 2004
Pb	1	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 3 Th 2010
Cd	0,1	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 3 Th 2010
Cr Total	1	Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 10 Th 2004
Cu	2	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 3 Th 2010
Zn	10	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 3 Th 2010
pH	6 - 9	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 3 Th 2010

Dari hasil uji kualitas di atas, disimpulkan bahwa dosis aluminium sulfat yang tepat adalah 300 mg/L, karena pada dosis 650 mg/L tidak memberi perbedaan yang signifikan, jika dibandingkan dengan hasil uji kualitas air limbah setelah penambahan aluminium sulfat 300 mg/L. Dan juga dapat disimpulkan bahwa perlu adanya pengolahan lanjutan setelah koagulasi-flokulasi, karena kadar fenol yang belum memenuhi baku mutu yang ada.

5.3. Rencana Desain SPAL

Sistem penyaluran air limbah yang akan diterapkan pada perencanaan ini adalah sistem *small bore sewer* (SBS), dimana memiliki kriteria desain sebagai berikut.

- Diameter minimum = 4" atau 100 mm
- Kemiringan maks = 1%
- Digunakan untuk limbah cair bebas padatan besar (tinja)

Diketahui berdasarkan pengukuran elevasi tanah secara langsung di lokasi perencanaan bahwa pada 15 titik dari IKM terjauh hingga lokasi lahan kosong untuk perencanaan IPAL adalah ± 3 m. Berdasarkan peta topografi kota Pekalongan, diketahui bahwa kemiringan pada daerah tersebut termasuk dalam kategori datar, yaitu 0 – 8%.

Dikarenakan limbah batik bersifat cair dan bebas padatan, serta meninjau kontur daerah perencanaan yang datar (topografi lokasi perencanaan 0-1%), maka sistem SBS diterapkan dalam perencanaan penyaluran air limbah yang akan dilakukan.

Maka direncanakan jaringan sistem penyaluran air limbah yang akan menghubungkan kelima IKM di daerah Pasirsari menuju lokasi instalasi pengolahan air limbah, berikut merupakan denah rencana jaringan pipa (jaringan pipa berupa garis berwarna biru).



Gambar 5.9. Jaringan SPAL IKM Batik

Keterangan :

Garis biru : Jalur pipa SPAL

Garis merah muda : Lahan kosong (6 ha)

Garis merah : Lokasi IKM batik

Garis hijau muda : Pemakaman

Lalu dilakukan perhitungan diameter pipa yang dibutuhkan serta kemiringan agar air limbah mengalir dengan lancar. Berikut merupakan contoh perhitungan desain pipa jalur D-E.

Jalur D-E

Langkah pertama, diketahui debit air limbah yang mengalir pada jalur D-E sebesar $69,74 \text{ m}^3/\text{hari}$, namun diketahui bahwa sistem penyaluran hanya akan dioperasikan selama 8 jam. Maka dihitung debit yang mengalir pada pipa per detik nya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q \text{ limbah (m}^3/\text{detik)} &= \frac{\text{Debit limbah per hari}}{\text{Waktu operasi}} \\ &= \frac{69,74 \text{ m}^3/\text{hari}}{8 \times 3600 \text{ detik}} = 0,00242 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Direncanakan kecepatan minimum $0,3 \text{ m/detik}$ maka dihitung diameter pipa yang dibutuhkan untuk memenuhi kecepatan $0,3 \text{ m/detik}$.

$$\text{Luas penampang pipa (A)} = \frac{Q}{v}$$

$$\text{Luas penampang pipa (A)} = \frac{0,00242 \text{ m}^3/\text{s}}{0,3 \text{ m/s}} = 0,00806 \text{ m}^2$$

$$\text{Diameter pipa} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,00806 \text{ m}^2}{\pi}} = 0,101 \text{ m} = 101 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan, diketahui bahwa diameter dalam pipa yang dibutuhkan adalah 101 mm, lalu dicocokkan dengan diameter dalam pipa pasaran yang ada yaitu 126,6 mm. Pada perencanaan ini, berdasarkan kriteria desain sistem sbs, diketahui bahwa diameter pipa servis minimum adalah OD 100mm atau 4", dan digunakan pipa PVC dengan spesifikasi sebagai berikut.

DAFTAR HARGA PIPA uPVC SNI 06-0084-2002

Size	O.D mm	S-10 (10-12 Bar)			S-12,5 (8-10 Bar)			S-16 (6-8 Bar)		
		T*	SCJ	RRJ	T*	SCJ	RRJ	T*	SCJ	RRJ
1/2" - S B	20	1.0	3,800	-	-	-	-	-	-	-
3/4" - S B	25	1.2	5,800	-	-	-	-	-	-	-
1" - S B	32	1.6	9,500	-	-	-	-	-	-	-
1 1/4"	40	1.9	12,000	-	1.6	10,000	-	-	-	-
1 1/2"	50	2.4	18,800	-	2.0	15,800	-	1.6	13,200	-
2"	63	3.0	29,800	30,300	2.4	23,900	24,700	2.0	21,000	22,000
2 1/2"	75	3.6	42,900	43,800	2.9	34,500	35,500	2.3	29,000	30,000
3"	90	4.3	61,500	62,600	3.5	50,700	51,900	2.8	42,200	43,000
4"	110	5.3	92,500	93,800	4.2	74,200	75,800	3.4	63,200	65,000
5"	140	6.7	149,500	151,600	5.4	121,300	123,300	4.3	102,000	105,000
6"	160	7.7	197,300	199,900	6.2	160,000	162,800	4.9	132,000	135,000
8"	200	9.6	309,000	312,000	7.7	248,800	253,000	6.2	210,000	218,000
9"	225	10.8	391,200	396,000	8.6	314,800	319,700	6.9	268,000	272,000
10"	250	11.9	481,500	488,600	9.6	392,600	399,700	7.7	332,000	338,000
11"	280	13.4	608,000	616,000	10.7	489,800	497,600	8.6	419,000	425,000
12"	315	15.0	769,500	783,700	12.1	625,900	639,900	9.7	532,000	550,000
14"	355	16.9	-	999,900	13.6	-	817,600	10.9	-	700,000
16"	400	19.1	-	1,290,000	15.3	-	1,049,000	12.3	-	903,000
18"	450	21.5	-	1,723,000	17.2	-	1,399,000	13.8	-	1,135,000
20"	500	23.9	-	2,142,000	19.1	-	1,738,000	15.3	-	1,398,000
24"	630	30.0	-	3,399,000	24.1	-	2,767,000	19.3	-	2,245,000

Gambar 5.10. Daftar klasifikasi diameter dan harga pipa

Maka dihitung *headloss* yang terjadi pada jalur D-E, dengan diketahui panjang jalur D-E adalah 85 m. *Headloss* dihitung dengan menggunakan rumus turunan dari rumus *headloss* Hazen-Williams. Diketahui :

$$C \text{ (koefisien kekasaran pipa)} = 120$$

$$\text{Headloss (m)} = \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times d^{2,68}} \right)^{1,85} \times L$$

Dimana :

Q = Debit (L/s)

L = Panjang (m)

C = Koefisien Hazen Williams

D = Diameter (cm)

$$\text{Headloss (D-E)} = \left(\frac{2,42}{0,00155 \times 120 \times 12,66^{2,68}} \right)^{1,85} \times 85 = 0,042 \text{ m}$$

Setelah diperoleh nilai *headloss* yang terjadi pada pipa yaitu sebesar 0,042 m, maka direncanakan beda ketinggian pipa

D-E sebesar 0,1 m agar memenuhi *headloss* yang ada. Maka dihitung besar kemiringan (*slope*) pada jalur D-E.

$$\begin{aligned}\text{Slope jalur D-E} &= \Delta H/L \\ &= 0,1 \text{ m}/85 \text{ m} = 0,0012\end{aligned}$$

Lalu dihitung kecepatan aliran dengan rumus berikut.

$$\begin{aligned}\text{Slope jalur D-E} &= \left(\frac{v/n}{R^{2/3}}\right)^2 \\ R \text{ (jari-jari hidrolis)} &= D/4 ; D = \text{Diameter}\end{aligned}$$

$$\text{Kecepatan (m/s)} = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

Dimana nilai *n* (kekasaran manning) untuk pipa PVC adalah 0,002-0,012 (tipikal 0,009-0,010), ditentukan karena pipa PVC masih dalam kondisi baru sehingga nilai *n* tipikal yang diambil adalah 0,009. Maka besar kemiringan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan (v)} &= \frac{1}{0,009} \times \left(\frac{0,126}{4}\right)^{2/3} \times 0,0012^{1/2} \\ &= 0,385 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Diperoleh nilai slope sebesar 0,0012 atau 0,12% yang memenuhi syarat maksimum slope untuk sistem sbis yaitu 1%. Lalu dilakukan perhitungan penanaman pipa, untuk mengetahui kedalaman penanaman dibutuhkan serta kebutuhan pompa dalam jaringan rencana.

Penanaman dilakukan pada jalur awal pipa yaitu titik 1-A dengan kedalaman penanaman sebesar 0,5 m. Lalu berdasarkan beda tinggi masing-masing jalur pipa, akan diperoleh kedalaman pipa pada saat ujung memasuki IPAL. Pada jalur D-E diketahui bahwa kedalaman penanaman pada titik D adalah 2,25 m sehingga kedalaman penanaman pada titik E :

$$H \text{ atas akhir (m)} = H \text{ awal} - \Delta H = 2,25 - 0,1 = 2,15 \text{ m}$$

Berikut merupakan tabel perhitungan lengkap desain sistem penyaluran air limbah yang direncanakan.

Tabel 5.5. Perhitungan Rencana Jaringan SPAL

Saluran	Panjang Pipa (m)	Elevasi Medan		Q limbah (m³/jam)	Q limbah (l/detik)	v rencana min. (m/s)	ND hitungan (m)	ND min Pasar (m)	ND min Pasar (cm)	OD Pasar (cm)	n (koefisien manning)	C (koefisien hazen- william)	Headloss pipa hazen- william (m)	Beda Tinggi Rencana (m)
		Awal	Akhir											
Pipa Persil														
1-A	15	3	3	2.304	0.640	0.3	0.0521	0.0994	9.94	11	0.009	120	0.00207	0.01
2-B	10	3	3	3.89	1.080	0.3	0.0677	0.0994	9.94	11	0.009	120	0.00364	0.01
3-C	8	3	3	2.33	0.648	0.3	0.0524	0.0994	9.94	11	0.009	120	0.00113	0.01
4-E	16	3	3	2.40	0.667	0.3	0.0532	0.0994	9.94	11	0.009	120	0.00238	0.01
5-F	12	3	3	0.72	0.199	0.3	0.0291	0.0994	9.94	11	0.009	120	0.00019	0.01
Pipa Servis														
A-B	28	3	3	2.304	0.640	0.3	0.0521	0.0994	9.94	11	0.009	120	0.00387	0.05
B-D	42	3	3	6.193	1.720	0.3	0.0854	0.0994	9.94	11	0.009	120	0.03612	0.1
C-D	38.8	3	3	2.333	0.648	0.3	0.0524	0.0994	9.94	11	0.009	120	0.00548	0.05
D-E	85	3	3	8.526	2.368	0.3	0.1002	0.1266	12.66	14	0.009	120	0.04071	0.1
E-F	44.6	3	3	10.926	3.035	0.3	0.1135	0.1266	12.66	14	0.009	120	0.03380	0.05
F-IPAL	80.4	3	3	11.643	3.234	0.3	0.1171	0.1266	12.66	14	0.009	120	0.06852	0.1
Saluran	Panjang Pipa (m)	Slope	Kecepatan Aliran (m/s)	H atas awal (m)	H atas akhir (m)	H akhir koreksi (m)	H bawah awal (m)	H bawah akhir (m)	Penanaman awal (m)	Penanaman akhir (m)				
Pipa Persil														
1-A	15	0.0007	0.244	2.2	2.19	2.19	2.09	2.08	0.91	0.92				
2-B	10	0.0010	0.299	2.2	2.19	2.14	2.09	2.03	0.91	0.97				
3-C	8	0.0013	0.335	2.2	2.19	2.14	2.09	2.03	0.91	0.97				
4-E	16	0.0006	0.237	2.2	2.19	1.94	2.09	1.83	0.91	1.17				
5-F	12	0.0008	0.273	2.2	2.19	1.79	2.09	1.68	0.91	1.32				
Pipa Servis														
A-B	28	0.0018	0.400	2.19	2.14	2.14	2.08	2.03	0.92	0.97				
B-D	42	0.0024	0.462	2.14	2.04	2.04	2.03	1.93	0.97	1.07				
C-D	38.8	0.0013	0.340	2.19	2.14	2.14	2.08	2.03	0.92	0.97				
D-E	85	0.0012	0.381	2.04	1.94	1.94	1.90	1.80	1.10	1.20				
E-F	44.6	0.0011	0.372	1.94	1.89	1.89	1.80	1.75	1.20	1.25				
F-IPAL	80.4	0.0012	0.392	1.89	1.79	1.79	1.75	1.65	1.25	1.35				

Berdasarkan tabel perhitungan di atas, diketahui bahwa tidak diperlukan pompa pada jaringan SPAL, pompa hanya diperlukan pada saat air limbah akan memasuki lokasi instalasi pengolahan air limbah.

Lalu dihitung kebutuhan *manhole* pada perencanaan ini, dengan mengacu pada ketentuan berikut.

Tabel 5.6. Jarak Manhole berdasar Diameter

Diameter (mm)	Jarak antar Manhole (m)
$100 < D < 200$	50 - 100
$200 < D < 500$	100 – 150
$500 < D < 1000$	150 – 175
$1000 < D < 2000$	175 - 200

Sumber : Metcalf and Eddy, 1981

Maka diketahui bahwa jumlah manhole yang dibutuhkan adalah 2 manhole lurus dan 2 manhole pertigaan.

5.4. Rencana Desain IPAL

Desain unit IPAL didasarkan pada tujuan pengolahan yang hendak dicapai. Dalam desain IPAL ini bertujuan untuk memperoleh kualitas effluent agar memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan agar tidak mencemari lingkungan. Dalam hal ini baku mutu yang digunakan adalah Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 tentang baku mutu air limbah industri tekstil dan batik, serta Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah industri dan/atau kegiatan usaha lainnya.

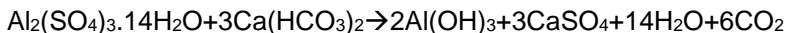
Dalam perencanaan ini, parameter yang menjadi fokus pengolahan adalah TSS, BOD, COD, Fenol dan Logam berat (Pb, Cr, Cu, Cd, Zn). Pengolahan terhadap parameter-parameter ini dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu :

- a. Koagulasi-Flokulasi diikuti dengan pengendapan
- b. Pengolahan lanjutan baik secara biologis atau fisik

Berdasarkan hasil analisa kualitas air limbah setelah perlakuan *jar test*, diketahui bahwa hanya parameter fenol yang masih melebihi baku mutu. Sehingga adanya pengolahan biologis diharapkan dapat menurunkan kadar parameter fenol hingga

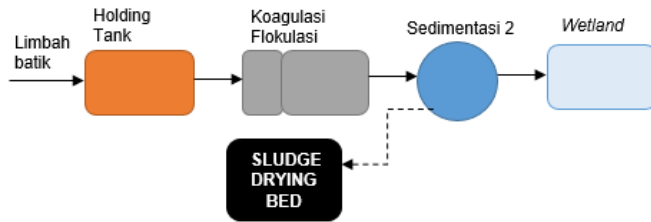
memenuhi baku mutu. Pengolahan biologis yang tepat untuk penurunan fenol dan warna pada limbah batik sendiri adalah *wetland*, karena ABR kurang cocok untuk penurunan fenol. Senyawa fenol sendiri dikategorikan oleh US EPA sebagai *priority pollutant*, yaitu senyawa yang bersifat toksik tinggi walaupun dalam kadar yang rendah. Sedangkan sistem kerja ABR memanfaatkan aktivitas biomassa, maka dari itu diperkirakan sistem ABR tidak efektif untuk penurunan senyawa fenol.

Selain itu pada proses proses pengolahan dilakukan proses koagulasi-flokulasi dengan penambahan Aluminium Sulfat. Pada penggunaan aluminium sulfat sebagai koagulan, air harus memiliki alkalinitas yang mencukupi untuk bereaksi dengan aluminium sulfat dan menghasilkan flok hidroksida. Umumnya, pada rentang pH basa dimana proses koagulasi terjadi, alkalinitas yang terdapat adalah dalam bentuk bikarbonat. Dalam perencanaan ini, tidak dilakukan penambahan kapur karena pH limbah saat awal pengukuran sudah cukup basa, yaitu 9,43. Pengendapan logam sebagai hidroksida juga umumnya dilakukan dengan penambahan pH hingga basa yaitu pH 9-10, karena pH awal telah mencapai 9,43 maka tidak diberi penambahan kapur atau sejenisnya. Berikut merupakan reaksi antara koagulan aluminium sulfat dengan air.

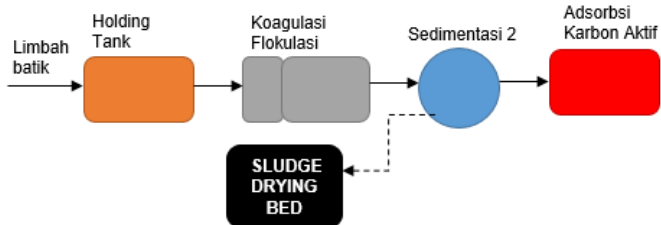


Selain parameter yang telah ditetapkan oleh Perda, desain kali ini juga berfokus pada penurunan warna. Sehingga perlu ada unit yang fokus terhadap pengolahan warna. Pada desain kali ini unit yang berfokus untuk mengolah warna adalah unit koagulasi-flokulasi dan pengolahan lanjutan (adsorpsi karbon aktif atau *wetland*).

Berikut merupakan diagram alir alternatif unit pengolahan air limbah batik pada perencanaan ini.



Gambar 5.11. Diagram Alir Alternatif 1 IPAL



Gambar 5.12. Diagram Alir Alternatif 2 IPAL

Pemilihan unit-unit tersebut didasarkan pada beberapa hal, antara lain sebagai berikut.

1. *Holding tank*

Holding tank dipilih untuk menampung air limbah yang masuk pada saat operasi berakhir, serta bertujuan untuk menerima air limbah yang akan memasuki instalasi pengolahan.

2. Koagulasi-Flokulasi dan Sedimentasi 2

Unit koagulasi-flokulasi dipilih karena konsentrasi parameter BOD dan COD yang masih belum memenuhi baku mutu sehingga perlu diolah secara kimia. Diketahui bahwa rasio BOD/COD air limbah $> 0,5$ maka dari itu setelah pengolahan secara kimia dapat dilanjutkan dengan pengolahan secara biologis. Koagulasi flokulasi dipilih karena pekatnya warna pada limbah batik, sehingga diperlukan proses ini untuk menurunkan warna yang ada.

Pada unit koagulasi-flokulasi dilakukan penambahan koagulan aluminium sulfat (tawas). Koagulan tawas lebih dipilih dibanding PAC dikarenakan mudah dijangkau baik secara jumlah maupun harga. Selain itu berdasarkan uji *jar test* yang telah dilakukan, penambahan aluminium

sulfat cukup efektif dalam penurunan nilai BOD, COD, dan TSS.

3. *Wetland*

Pengolahan biologis yang sesuai dengan tujuan dalam perencanaan ini ada *wetland*. *Wetland* dipilih setelah meninjau karakteristik air limbah setelah koagulasi-flokulasi, diketahui bahwa kadar fenol yang masih belum memenuhi baku mutu. Berdasar studi literatur yang dilakukan, *wetland* merupakan pengolahan biologis yang paling efektif dalam mereduksi kandungan logam dan fenol. Tumbuhan jenis *Typha* merupakan salah satu tumbuhan yang paling efektif untuk melakukan reduksi kandungan pencemar dalam media.

Constructed wetland adalah sistem rekayasa yang telah didesain dan dibangun dengan memanfaatkan proses alamiah yang melibatkan tumbuhan, tanah, dan mikroba yang saling berhubungan untuk membantu pengolahan limbah cair. Ada dua jenis Lahan Basah Buatan, yaitu jenis aliran permukaan (Surface Flow) dan aliran bawah permukaan (Sub Surface Flow). Dalam perencanaan ini digunakan sistem SSF.

4. Adsorpsi Karbon Aktif

Karbon aktif dapat digunakan sebagai bahan pemucat, penyerap gas, penyerap logam, menghilangkan polutan mikro misalnya zat organik, detergen, bau, senyawa phenol dan lain sebagainya. Pada saringan arang aktif ini terjadi proses adsorpsi, yaitu proses penyerapan zat - zat yang akan dihilangkan oleh permukaan arang aktif, termasuk CaCO_3 yang menyebabkan kesadahan. Apabila seluruh permukaan arang aktif sudah jenuh, atau sudah tidak mampu lagi menyerap maka kualitas air yang disaring sudah tidak baik lagi, sehingga arang aktif harus diganti dengan arang aktif yang baru.

5. *Sludge Drying Bed*

Pada instalasi pengolahan air limbah (IPAL) umumnya dihasilkan produk samping berupa lumpur. Lumpur diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan agar dampak negatif dapat diminimalkan dan volume airnya

tereduksi. Unit yang akan digunakan sebagai pengolah lumpur adalah *sludge drying bed*.

Sludge drying bed adalah saringan berisi pasir dan kerikil serta subdrain untuk mengeringkan digester sludge baik digester dari kondisi aerob maupun anaerob. Setelah kering lumpur ditumbuk menjadi halus seperti pasir halus yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk yang dimasukkan ke dalam kantung-kantung plastik atau sebagai *soil conditioner*.

Dalam perencanaan ini tidak diperlukan adanya bak ekualisasi karena debit yang diolah tidak bersifat fluktuatif. Oleh karena itu, setelah memasuki *holding tank*, air limbah akan langsung melewati proses pengolahan.

Selanjutnya, dilakukan perbandingan antara kelebihan dan kekurangan dari *wetland* dengan adsorbsi karbon aktif. Pemilihan akan disesuaikan dengan kondisi lapangan yang ada baik secara teknis maupun finansial. Berikut merupakan perbandingan antara *wetland* dan adsorbsi karbon aktif.

Tabel 5.7. Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan *Wetland* dan Adsorbsi Karbon Aktif

Jenis Pengolahan	Kelebihan	Kekurangan
Karbon Aktif	Reduksi pencemar yang dihasilkan cenderung lebih besar, memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibanding wetland	Membutuhkan biaya yang lebih besar jika dibandingkan dengan <i>wetland</i> karena harga karbon aktif serta proses aktivasinya membutuhkan biaya yang cukup mahal.
	Membutuhkan lahan yang sedang (tidak luas) karena luas permukaan karbon aktif sebesar 300 – 3500 gram / m ² , sehingga cocok untuk diterapkan pada wilayah yang memiliki lahan sempit	Dalam hal maintenance atau perawatan, cenderung lebih rumit dan membutuhkan tenaga kerja yang berkualifikasi untuk melakukan operasi dan perawatan.

Jenis Pengolahan	Kelebihan	Kekurangan
Wetland	Lebih efektif dalam mereduksi warna pada air	Sebelum digunakan, harus dilakukan aktivasi terlebih dahulu, aktivasi dapat dilakukan secara kimia (dengan menggunakan hidroksida logam alkali garam-garam karbonat, klorida, sulfat, dan lainnya) atau secara fisika (dengan bantuan panas, uap, dan CO ₂) Perlu dilakukan penggantian arang aktif, atau dapat dilakukan dengan cara pencucian karbon aktif.
	Merupakan pengolahan biologis yang paling cocok dalam mereduksi pencemar seperti logam berat, senyawa organik, dan lainnya.	Membutuhkan lahan yang lebih luas dibanding dengan proses pengolahan secara adsorpsi karbon aktif.
	Biaya pengolahan dan perawatan lebih murah. Menurut Mangkoediharjo dalam Kurniawan (2005), sistem pengolahan biologis dengan tumbuhan dapat menghemat biaya operasional hingga 50% proses mekanis. Hal ini dikarenakan tumbuhan dapat tetap	Berpotensi menimbulkan bau seperti hasil dari proses dekomposisi tanaman. Serta dapat terjadi adanya sarang nyamuk jika terjadi genangan air.

Jenis Pengolahan	Kelebihan	Kekurangan
	berkembang tanpa biaya	
	Tidak memerlukan tenaga ahli untuk operasional dan pemeliharannya karena teknologinya sederhana dan sangat sesuai untuk area yang natural	Pengoperasian sistem ini tergantung pada kondisi lingkungan termasuk iklim dan suhu. Pengolahan kurang optimal untuk daerah dengan suhu rendah.

Setelah meninjau kelebihan dan kekurangan masing-masing alternatif di atas, serta melihat kondisi lapangan yang ada, maka ditentukan bahwa pengolahan secara biologis (*wetland*) lebih tepat untuk diterapkan. Karena lokasi perencanaan bukan merupakan daerah untuk perkembangan pemukiman, maka lahan kosong yang tersedia masih cukup luas, sehingga diperkirakan akan mencukupi untuk dibangun suatu instalasi pengolahan air limbah di sekitar daerah Pasirsari. Serta harga lahan di daerah Pasirsari cukup terjangkau (tidak termasuk kategori mahal). Lalu secara finansial, karbon aktif diperkirakan akan menghabiskan biaya operasional dan perawatan yang lebih mahal, sedangkan kondisi ekonomi masyarakat pengrajin batik sendiri belum cukup baik. Maka dari itu *wetland* dipilih sebagai pengolahan lanjutan.

5.5. Desain Unit IPAL

Desain unit ipal dilakukan dengan mempertimbangkan kriteria desain pada tiap unit agar desain yang diperoleh dapat bekerja dengan baik, serta menyesuaikan luas lahan kosong tersedia, yaitu 74 m x 29 m. Desain setiap unit disajikan sebagai berikut.

5.5.1. Desain *Holding Tank*

Pada perencanaan ini, pengoperasian instalasi pengolahan air limbah akan dilakukan pada pukul 08.00 hingga 16.00 WIB, sesuai dengan jam kerja operator. Sedangkan berdasarkan survei, diketahui bahwa waktu pembuangan limbah batik dilakukan oleh seluruh IKM berdasarkan proses pembuatan, yaitu rata-rata 3x pembuangan dalam waktu 1 hari, pukul 10.00,

14.00, dan 16.00. *Holding Tank* sendiri berfungsi untuk menampung air limbah yang belum diolah pada saat jam operasi berlangsung. Waktu operasi selama 8 jam dan debit yang dihasilkan pada jam terakhir (16.00) adalah sebesar 11,64 m³/jam, maka berikut merupakan perhitungan *Holding Tank*.

$$Q_{\text{desain per jam}} = 11,64 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$Q \text{ per detik} = \frac{\text{Debit limbah per jam}}{\text{detik/jam}}$$

$$Q \text{ per detik} = \frac{11,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1000 \text{ l/m}^3}{3600 \text{ detik/jam}} = 3,234 \text{ l/detik}$$

Pada pukul 16.00, waktu operasi IPAL telah berakhir, sehingga *holding tank* harus menampung air limbah yang dibuang pada saat siklus terakhir, yaitu air limbah dari IKM mulai pukul 13.00 – 16.00 (yaitu selama 3 jam). Maka debit saat pembuangan terakhir adalah :

$$Q \text{ per pembuangan} = \text{Debit per jam} \times 3 \text{ jam}$$

$$= 11,64 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 3 \text{ jam}$$

$$= 34,93 \text{ m}^3/\text{pembuangan}$$

Maka direncanakan volume *holding tank* sebesar 34,93 m³. Direncanakan tinggi *holding tank* adalah 1,5 m, diketahui kedalaman penanaman terakhir sedalam 1,05 m, dengan kedalaman penanaman bangunan direncanakan tertanam di bawah tanah dengan penutup muncul di permukaan, maka freeboard bangunan adalah sebesar :

$$\text{Freeboard} = \text{Kedalaman penanaman pipa akhir}$$

$$= 0,91 \text{ m}$$

Rasio panjang : lebar adalah 1 : 1, maka dimensi *holding tank* adalah sebagai berikut.

$$\text{Volume (m}^3\text{)} = p \times l \times t$$

$$34,93 \text{ m}^3 = 1l \times l \times 1,5$$

$$34,93 \text{ m}^3 = 1,5 l^2$$

$$\text{Lebar bak (m)} = 4,8 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (m)} = 4,8 \text{ m}$$

Setelah diperoleh dimensi *Holding Tank* yang dibutuhkan, dilakukan perhitungan kebutuhan pompa untuk mengetahui karakteristik pompa dan aksesoris yang dibutuhkan. Pompa berfungsi untuk mengalirkan air secara konstan dari jaringan menuju instalasi pengolahan.

Diketahui berdasar perhitungan penanaman pipa penyalur bahwa pompa dibutuhkan pada titik saat air limbah akan memasuki *Holding Tank*. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan pompa adalah sebagai berikut.

a. Kecepatan aliran dalam pipa < 2 m/detik untuk mencegah penggerusan dalam pipa.

b. Direncanakan jumlah pompa terdapat 2, 1 untuk standby dan 1 lagi beroperasi, maka dari itu dalam perhitungan kebutuhan pompa digunakan asumsi jumlah pompa 1.

c. Pompa yang digunakan adalah pompa *submersible* untuk air limbah.

Perhitungan Pompa

$$Q_{ave} = 0,003234 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$V_{asumsi} = 0,6 \text{ m/s (kecepatan minimum)}$$

$$\text{Jumlah pompa} = 1$$

$$\text{Luas penampang pipa} = Q/v$$

$$= \frac{0,003234 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,6 \text{ m/detik}} = 0,0054 \text{ m}^2$$

$$\text{Diameter pipa} = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,0054}{\pi}} = 0,0829 \text{ m}$$

$$\text{Diameter pasaran (mm)} = 81,4 \text{ mm (OD 3")}$$

Cek kecepatan :

$$\text{Kecepatan} = Q/A$$

$$= \frac{0,003234 \text{ m}^3/\text{detik}}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,0814^2} = 0,62 \text{ m/s}$$

Perhitungan Head Pompa

$$\text{Head statis (Hs)} = 3,25 \text{ m}$$

$$\text{Panjang pipa discharge} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Headloss mayor} = \text{Headloss discharge}$$

$$= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times d^{2,68}} \right)^{1,85} \times L$$

Dimana :

$$Q = \text{Debit (L/s)}$$

$$L = \text{Panjang (m)}$$

$$C = \text{Koefisien Hazen Williams}$$

$$D = \text{Diameter (cm)}$$

$$\text{Headloss mayor} = \left(\frac{3,234}{0,00155 \times 120 \times 8,14^{2,68}} \right)^{1,85} \times 5$$

$$= 0,0301 \text{ m}$$

$$\text{Headloss minor} = H_f \text{ Bend } 90 + H_f \text{ Tee} + H_f \text{ Kecepatan}$$

$$= (0,5 + 0,9 + 1) \times \frac{v^2}{2g}$$

$$= 2,3 \times \frac{0,62^2}{2 \times 9,81} = 0,042 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Head pompa} &= H_s + H_f \text{ mayor} + H_f \text{ minor} + \text{Sisa Tekan} \\ &= 3,25 \text{ m} + 0,0301 \text{ m} + 0,042 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\ &= 3,6221 \text{ m} = 3,62 \text{ m}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan head pompa yang diperlukan adalah 3,62 m. Jenis pompa yang digunakan adalah pompa submersible air limbah dengan kode SL1.20.A25.30.2.60J.C dari produsen pompa Grundfos.

5.5.2. Desain Unit Koagulasi-Flokulasi

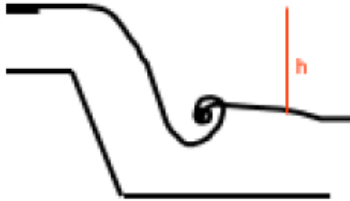
Bak koagulasi berfungsi untuk meratakan atau mendispersikan koagulan dalam air limbah. Adapun koagulan yang digunakan dalam desain kali ini adalah aluminium sulfat dengan dosis 300 mg/L. Pembubuhan koagulan dilakukan sebelum air limbah jatuh ke bak penampung. Sistem yang digunakan pada pengadukan cepat perencanaan ini adalah sistem hidrolis, dengan menggunakan terjunan. Pengadukan dengan sistem ini memberikan hasil yang cukup memuaskan dengan biaya konstruksi, operasional, dan pemeliharaan yang relatif rendah. Keterbatasan fleksibilitas yang dimiliki oleh unit ini dapat diatasi dengan melakukan pengolahan pada debit yang spesifik.

Air limbah yang telah mengalami proses pengadukan cepat selanjutnya dilakukan pengadukan lambat. Pengadukan lambat bertujuan untuk membentuk flok. Pada desain IPAL digunakan tiga tahapan pengadukan lambat dengan gradient kecepatan menurun. Hal ini bertujuan agar flok yang terbentuk dapat bergabung dengan flok yang lain, sedangkan gradient kecepatan yang menurun bertujuan agar flok yang dihasilkan tidak pecah.

Pada desain IPAL, pengadukan lambat digunakan sistem *hydraulic jet flocculator*. Pada sistem ini, gradien kecepatan pengadukan diatur melalui dimensi bukaan antar kompartemen. Sehingga optimalisasi dapat diatur melalui dimensi bukaan yang akan berpengaruh pada *headloss* antar kompartemen.

Flok yang telah terbentuk diendapkan menggunakan bak sedimentasi. Bak sedimentasi didesain berdasarkan empat zona

yang ada pada bak sedimentasi. Zona-zona yang didesain antara lain zona inlet, zona pengendapan, zona outlet dan zona lumpur.



Gambar 5.13. Sketsa Pengadukan Cepat dengan Terjunan

Perencanaan Bak Pembubuh Alum

Diketahui :

Dosis aluminium sulfat = 300 mg/L

Densitas alum. sulfat = $2,67 \text{ g/cm}^3 = 2670 \text{ kg/m}^3$

Jumlah bak = 1 buah

Kadar alum. sulfat = 10,7%

Dimensi bak :

Kebutuhan alum. sulfat = Dosis x Q
 $= 300 \text{ mg/L} \times 90,59 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $= 27,177 \text{ kg/hari}$

Volume alum. sulfat = Berat/densitas
 $= \frac{27,177 \text{ kg/hari}}{2670 \text{ kg/m}^3} = 0,01 \text{ m}^3/\text{hari}$

Volume larutan = Volume alum. sulfat / kadar
 $= \frac{0,01 \text{ m}^3}{10,7\%} = 0,1 \text{ m}^3/\text{hari}$

Direncanakan ketinggian bak sedalam 0,2 m dengan freeboard 0,3 m, maka luas permukaan bak :

Luas permukaan = Volume larutan/ketinggian
 $= 0,1 \text{ m}^3 / 0,2 \text{ m} = 0,5 \text{ m}^2$

Luas permukaan = $p \times l$
 $0,5 \text{ m}^2 = p^2 \rightarrow p = 0,707 \text{ m} ; l = 0,707 \text{ m}$

Lalu didesain pipa penyalur aluminium sulfat dengan dosing pump :

v rencana = 0,8 m/s

Lama penginjeksian = 8 jam

Q injeksi = $\frac{\text{Volume Larutan}}{\text{Waktu injeksi}}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,1 \text{ m}^3}{8 \text{ jam} \times 3600 \text{ s}} = 3,47 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q \text{ (l/jam)} &= 12,5 \text{ l/jam} \\
 \text{Luas penampang pipa} &= Q/v \\
 &= \frac{3,47 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}}{0,8 \text{ m/s}} = 4,34 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \\
 \text{Diameter pipa} &= \sqrt{\frac{4 A}{\pi}} \\
 &= \sqrt{\frac{4 \times 4,3 \times 10^{-6}}{\pi}} = 0,0024 \text{ m} = 2,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan debit pembubuhan yang dibutuhkan, diketahui bahwa pompa untuk *dosing pump* yang sesuai kebutuhan perencanaan adalah LMI seri B13. Gambar rancangan bak pembubuh aluminium sulfat terlampir pada lampiran D gambar no. 7.

Perencanaan Bak Pengaduk Cepat

Diketahui debit yang diolah pada IPAL sebesar 3,145 l/detik. Berdasar uji laboratorium yang dilakukan, diketahui bahwa kecepatan rotasi/putaran (n) sebesar 100 rpm dan waktu selama 1 menit (60 detik), Di (diameter pengaduk) sebesar 0,09 m. Karena pengaduk berbentuk *flat paddles* dengan 2 *blade*, maka diperoleh nilai K_T sebesar 2,25. Lalu dihitung besar daya yang dibutuhkan, sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 P &= K_T \times n^3 \times D_i^5 \times \rho \\
 \text{Dimana :} \\
 P &= \text{Power (N.m/s)} \\
 D_i &= \text{Diameter pengaduk (m)} \\
 K_T &= \text{Konstanta pengaduk} \\
 n &= \text{Kecepatan putaran (rps)} \\
 \rho &= \text{Massa jenis cairan (kg/m}^3\text{)} \\
 P &= 2,25 \times 1,67^3 \times 0,09^5 \times 997,1 \\
 &= 0,0613 \text{ Nm/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G &= \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \\
 \text{Dimana :} \\
 G &= \text{Gradien kecepatan (s}^{-1}\text{)} \\
 \mu &= \text{Viskositas absolut (N.s/m}^2\text{)} \\
 P &= \text{Power (N.m/s)}
 \end{aligned}$$

V = Volume gelas ukur percobaan (m³)

$$G = \sqrt{\frac{0,0613}{8,95 \times 10^{-4} \times 0,001}} = 261,71 = 262$$

Maka direncanakan :

- Gradien kecepatan sebesar 262/detik
- Waktu detensi selama 1 menit (60 detik)
- Gradien kecepatan (GTd) = G x Td
= 262 x 60 = 15720

Berikut merupakan kriteria desain unit koagulasi dari Reynolds (1982) :

- Gradien kecepatan (GTd) = 10⁴ – 10⁵
- Waktu detensi (Td) = 20 – 60 detik

Sesuai dengan kriteria desain di atas maka perencanaan telah memenuhi kriteria. Dengan suhu air sebesar 25°C, maka :

$$\rho \text{ air (suhu } 25^{\circ}\text{C)} = 997,1 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu \text{ air (suhu } 25^{\circ}\text{C)} = 8,95 \times 10^{-4} \text{ N.detik/m}^2$$

$$\nu \text{ air (suhu } 25^{\circ}\text{C)} = 8,975 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{detik}$$

Dihitung besar *headloss* yang ada, dengan rumus berikut.

$$G = \sqrt{\frac{\rho \cdot g \cdot hl}{\mu T}} ; \text{ dimana :}$$

G = Gradien Kecepatan (/detik)

ρ = Massa Jenis Air (kg/m³)

hl = Headloss (m)

μ = Viskositas Absolut (kg/m.detik)

T = Waktu Detensi (detik)

$$G = \sqrt{\frac{\rho \cdot g \cdot hl}{\mu T}}$$

$$262 = \sqrt{\frac{997,1 \times 9,81 \times hl}{8,95 \times 10^{-4} \times 60}}$$

$$hl = 0,37 \text{ m}$$

Headloss yang terjadi merupakan tinggi minimum terjunan yang dibutuhkan untuk mencapai gradien sesuai rencana. Maka direncanakan tinggi terjunan (H) sebesar 0,5 m. Direncanakan pula lebar terjunan sebesar 1 m, maka dimensi bak koagulasi sebelum terjunan adalah :

- Volume bak = Q x td
= 0,003234 m³/s x 60 s = 0,194 m³

- Tinggi terjunan = 0,5 m; kedalaman bak = 0,2 m
- Lebar 0,5 m
- Tinggi bak (H) = V/A
 $0,2 \text{ m} = \frac{0,194 \text{ m}^3}{A \text{ m}^2} \rightarrow A \text{ (m}^2\text{)} = 0,97 \text{ m}^2$
- Luas (A) = $p \times l$
 $0,97 \text{ m}^2 = p \times 1 \text{ m}$
 Panjang = 0,97 m
- Freeboard 0,3 m

Selanjutnya dihitung nilai bilangan terjunan dan panjang lintasan setelah terjunan, dengan rumus berikut.

$$D = \frac{q^2}{g \times H^3}$$

$$q = \frac{Q}{W}$$

$$Ld = 4,3 \times H \times D^{0,27}$$

Dimana :

D = Bilangan terjunan (*Drop number*)

Q = Debit aliran (m³/detik)

W = Lebar terjunan (m)

q = Debit/lebar unit

H = Tinggi terjunan (m)

$$q = \frac{Q}{W} = \frac{0,003234 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m}} = 0,003234 \text{ m}^3/\text{m.detik}$$

$$D = \frac{q^2}{g \times H^3} = \frac{0,003234^2}{9,81 \times 0,5^3} = 8,53 \times 10^{-6}$$

$$Ld = 4,3 \times H \times D^{0,27} = 4,3 \times 0,5 \times (8,53 \times 10^{-6})^{0,27} = 0,09 \text{ m} = 0,1 \text{ m}$$

Setelah diperoleh nilai bilangan terjunan serta panjang terjunan, dihitung kedalaman air pada hulu loncatan hidrolis dan kedalaman air pada hilir loncatan hidrolis, sebagai berikut.

$$Y_1 = 0,54 \times H \times D^{0,425}$$

$$Y_2 = 1,66 \times H \times D^{0,27}$$

Dimana :

Y₁ = Kedalaman air pada hulu loncatan hidrolis (m)

Y₂ = Kedalaman air pada hilir loncatan hidrolis (m)

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 0,54 \times H \times D^{0,425} \\
 &= 0,54 \times 0,5 \times (8,53 \times 10^{-6})^{0,425} = 0,0019 \text{ m} \\
 Y_2 &= 1,66 \times H \times D^{0,27} \\
 &= 1,66 \times 0,5 \times (8,53 \times 10^{-6})^{0,27} = 0,0355 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka dapat diperoleh panjang loncatan dengan rumus berikut.

$$\begin{aligned}
 L \text{ (m)} &= (5,0 - 6,9) \times (Y_2 - Y_1) \\
 &= 6 \times (0,0355 - 0,0019) = 0,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Lalu ditentukan panjang bak setelah adanya loncatan (L_b) hidrolis dengan menggunakan grafik hubungan antara panjang loncatan dengan bilangan froude. Bilangan froude sendiri diperoleh dengan cara berikut.

Direncanakan :

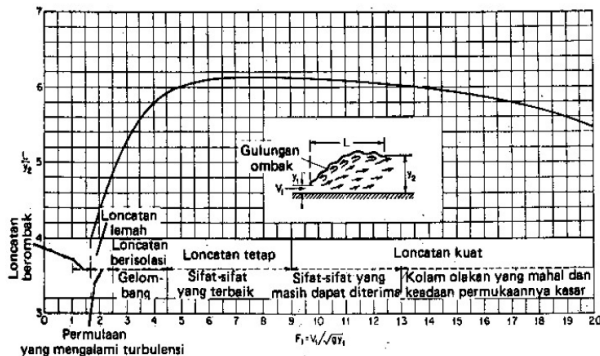
$$\begin{aligned}
 H \text{ (ketinggian air dalam bak terjunan)} &= 0,2 \text{ m} \\
 H_b \text{ (ketinggian air di atas terjunan)} &= 0,1 \text{ m} \\
 Z \text{ (beda tinggi / ketinggian terjunan)} &= 0,5 \text{ m} \\
 v \text{ (kecepatan aliran dalam bak/awal)} &= Q/As \\
 &= 0,017 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

Maka nilai v_1 (kecepatan setelah terjunan) adalah :

$$\begin{aligned}
 v_1 &= v \times (2g \times (Z - 0,5 H_d)) \\
 &= 0,017 \times ((2 \times 9,81) \times (0,5 - 0,1)) = 0,156 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_1 &= v_1 / \sqrt{g \times Y_1} \\
 &= 0,156 / \sqrt{9,81 \times 0,0019} = 1,16
 \end{aligned}$$

Maka dari nilai bilangan froude (F_1), dapat diperoleh nilai L_b/Y_2 dengan grafik berikut.



Gambar 5.14. Hubungan antara panjang loncatan dan F_1

Diperoleh nilai L_b/Y_2 sebesar 3,5 maka nilai L_b sebesar :

$$L_b/Y_2 = 3,5$$

$$L_b = 3,5 \times Y_2 = 3,5 \times 0,036 = 0,126 \text{ m}$$

Maka panjang bak koagulasi minimum :

$$L_{\text{minimum}} = L_d + L + L_b$$

$$= 0,1 + 0,2 + 0,13 = 0,43 \text{ m} = 0,5 \text{ m}$$

Ditetapkan panjang bak lintasan koagulasi total lebih dari 0,5 m yaitu sepanjang 1 m. Direncanakan freeboard sebesar 0,3 m dan kedalaman bak dihitung sebagai berikut :

$$\text{Volume} = Q \times t_d$$

$$= 0,003234 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60 \text{ detik} = 0,194 \text{ m}^3$$

$$A_{\text{bak}} = \text{Lebar bak} \times \text{panjang bak}$$

$$= 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 1 \text{ m}^2$$

$$H_{\text{air}} = V/A = 0,194/1 = 0,194 \text{ m} = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman bak} = H_{\text{air}} + f_b$$

$$= 0,2 + 0,3 = 0,5 \text{ m}$$

Selanjutnya, *headloss* jatuhan menuju bangunan flokulasi akan dihitung dengan menggunakan rumus Manning. Persamaan manning dijabarkan sebagai berikut.

$$H_L = \left(\frac{v \times n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L$$

Dimana :

n = Koefisien kekasaran manning

R = Jari-jari hidrolis

L = Panjang jatuhan atau belokan (m)

Diketahui kecepatan pada bak lintasan koagulasi sebagai berikut.

$$v = \frac{\text{Panjang}}{\text{Waktu detensi}} = \frac{1 \text{ m}}{60 \text{ s}} = 0,0167 \text{ m/detik}$$

$$R = \frac{A/P}{2h+l} = \frac{\frac{l \times h}{2}}{(2 \times 0,2)+1} = 0,142$$

$$H_L = \left(\frac{v \times n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L$$

$$= \left(\frac{0,0167 \times 0,015}{0,142^{2/3}} \right)^2 \times 1 = 9,2 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Gambar rancangan bak pengaduk cepat terlampir pada lampiran D gambar no. 7 dan 8.

Perencanaan Bak Pengaduk Lambat

$$\text{Debit (Q)} = 3,234 \text{ l/detik} = 0,003234 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Waktu detensi (t_d) = 15 menit

Jumlah bak = 1

Q bak = $0,003234 \text{ m}^3/\text{detik} = 0,1106 \text{ ft}^3/\text{s}$

Kriteria desain :

- GTd = $10^4 - 10^5$
- T_d per kompartemen = 5 – 10 menit

Direncanakan terdapat 3 kompartemen, dengan gradien kecepatan dan waktu detensi sebagai berikut :

Kompartemen 1 = 60/detik ; waktu detensi 5 menit

Kompartemen 2 = 50/detik ; waktu detensi 5 menit

Kompartemen 3 = 40/detik ; waktu detensi 5 menit

Lalu dilakukan pengecekan pada GTd masing-masing kompartemen, yaitu sebagai berikut :

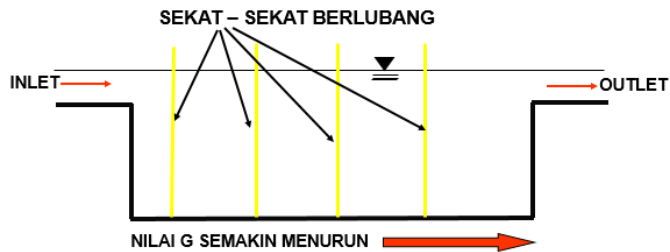
- GTd kompartemen 1 = 60/detik x 300 detik = 18000

- GTd kompartemen 2 = 50/detik x 300 detik = 15000

- GTd kompartemen 3 = 40/detik x 300 detik = 12000

Kedalaman bak flokulasi direncanakan sedalam 0,5 m dengan freeboard 0,3 m. Lalu dihitung volume bak flokulasi sebagai berikut.

Volume bak (m^3) = $Q \times t_d$
= $0,003234 \text{ m}^3/\text{detik} \times 15 \times 60 \text{ detik}$
= $2,9 \text{ m}^3$



Gambar 5.15. Hydraulic Jet Flocculator

Direncanakan :

Panjang bak = 2 x lebar

Kedalaman bak = 0,5 m

Volume bak = $p \times l \times t$

$2,9 \text{ m}^3 = 2l \times l \times 0,5$

$2,83 \text{ m}^3 = l^2 \rightarrow \text{lebar} = 1,71 \text{ m}$

Panjang = 2 x lebar = 3,42 m
 Direncanakan zona outlet sepanjang 0,5 m, maka panjang total dari bak pengaduk lambat adalah :

$$\begin{aligned}\text{Panjang total} &= \text{Panjang} + (3 \times \text{tebal plat}) + z. \text{ outlet} \\ &= 3,42 + (3 \times 0,005) + 0,5 \\ &= 3,94 \text{ m} = 4 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= \frac{A}{P} = \frac{l \times h}{2h+l} \\ &= \frac{1,7 \times 0,5}{(2 \times 0,5)+1,7} = 0,315\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas } baffle &= \text{Lebar flokulator} \times \text{kedalaman bak} \\ &= 1,7 \times 0,5 = 0,85 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Diameter rencana} = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{Luas lubang orifice} = 0,000314 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume tiap kompartemen} = \frac{V}{3} = 0,94 \text{ m}^3$$

Lalu dihitung besar *headloss* tiap kompartemen dengan rumus berikut.

$$\begin{aligned}\text{Headloss kompartemen} &= \frac{G^2 \times \mu \times td}{\rho \times g} \\ \text{Headloss komp. 1} &= \frac{60^2 \times 8,95 \times 10^{-4} \times 300}{997,1 \times 9,81} = 0,098 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Headloss komp. 2} &= \frac{50^2 \times 8,95 \times 10^{-4} \times 300}{997,1 \times 9,81} = 0,068 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Headloss komp. 3} &= \frac{40^2 \times 8,95 \times 10^{-4} \times 300}{997,1 \times 9,81} = 0,044 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Nilai koefisien orifice} = 0,7 \text{ (0,65 – 0,8)}$$

Maka dihitung luas permukaan orifice sebagai berikut.

$$\text{Luas total orifice} = \sqrt{\frac{(Q/C)^2 \times 1}{2 \times g \times hL}}$$

$$\begin{aligned}\text{A orifice komp. 1} &= \sqrt{\frac{(0,1106/0,7)^2 \times 1}{2 \times 32,174 \times 0,321}} \\ &= 0,035 \text{ ft}^2 = 0,0033 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{A orifice komp. 2} &= \sqrt{\frac{(0,1106/0,7)^2 \times 1}{2 \times 32,174 \times 0,223}} \\ &= 0,042 \text{ ft}^2 = 0,0039 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$A \text{ orifice komp. 3} = \sqrt{\frac{(0,1106/0,7)^2 \times 1}{2 \times 32,174 \times 0,144}}$$

$$= 0,052 \text{ ft}^2 = 0,0048 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah orifice (n)} = \frac{A \text{ total orifice tiap kompartemen}}{A \text{ tiap orifice}}$$

$$\text{Jumlah orifice k1} = 10$$

$$\text{Jumlah orifice k2} = 12$$

$$\text{Jumlah orifice k3} = 15$$

Lalu dilakukan pengecekan terhadap kecepatan aliran yang melalui tiap lubang.

$$Q \text{ melalui lubang k1} = Q/n$$

$$= 0,0003234 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$A \text{ tiap orifice (m}^2\text{)} = 0,000314$$

$$v \text{ lubang (m/s)} = Q/A = 1,0029 \text{ m/s}$$

$$Q \text{ melalui lubang k2} = Q/n$$

$$= 0,00026 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$A \text{ tiap orifice (m}^2\text{)} = 0,000314$$

$$v \text{ lubang (m/s)} = Q/A = 0,829 \text{ m/s}$$

$$Q \text{ melalui lubang k3} = Q/n$$

$$= 0,000216 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$A \text{ tiap orifice (m}^2\text{)} = 0,000314$$

$$v \text{ lubang (m/s)} = Q/A = 0,686 \text{ m/s}$$

Lalu direncanakan susunan lubang pada baffle, sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lubang vertikal komp.1} &= 2 \\ \text{Jumlah lubang vertikal komp.2} &= 2 \\ \text{Jumlah lubang vertikal komp.3} &= 3 \\ \text{Jumlah lubang horizontal komp.1} &= 5 \\ \text{Jumlah lubang horizontal komp.2} &= 6 \\ \text{Jumlah lubang horizontal komp.3} &= 5 \end{aligned}$$

Setelah diperoleh jumlah lubang baik yang tersusun secara horizontal maupun vertikal, dihitung jarak antar masing-masing lubang.

$$\text{Jarak antar lubang vertikal} = \frac{h \text{ baffle} - (\text{jumlah ver} \times d)}{\text{jumlah ver} + 1}$$

$$\text{Jarak antar lubang ver. komp. 1} = 0,15 \text{ m}$$

Jarak antar lubang ver. komp. 2 = 0,15 m

Jarak antar lubang ver. komp. 3 = 0,11 m

Jarak antar lubang horizontal = $\frac{L \text{ baffle} - (\text{jumlah hor} \times d)}{\text{jumlah hor} + 1}$

Jarak antar lubang hor. komp. 1 = 0,267 m

Jarak antar lubang hor. komp. 2 = 0,225 m

Jarak antar lubang hor. komp. 3 = 0,267 m

Outlet Unit Koagulasi-Flokulasi

Saluran outlet direncanakan menggunakan pipa PVC, dengan panjang saluran direncanakan sepanjang 4 m. Karena outlet menggunakan pipa PVC, maka nilai $n = 0,009$. Selanjutnya dihitung besar *headloss* yang terjadi pada saluran.

Direncanakan :

Kecepatan pada pipa = 0,2 m/detik

Debit air limbah = 0,003234 m³/detik

$$A \text{ (m}^2\text{)} = \frac{Q}{v} \\ = \frac{0,003234 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,2 \text{ m/detik}} = 0,0162 \text{ m}^2$$

$$\text{Diameter (m)} = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}}$$

$$\text{Diameter (m)} = \sqrt{\frac{4 \times 0,0162}{\pi}} \rightarrow D = 0,143 \text{ m}$$

Diameter dalam pasaran = 144,6 mm = 0,1446 m

$$\text{Cek kecepatan (v)} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \\ = \frac{0,003234}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,1446^2} = 0,197 \text{ m/s}$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{D}{4} = \frac{0,1446}{4} = 0,0362$$

$$\text{Kecepatan (v)} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

$$0,197 \text{ m/s} = \frac{1}{0,009} \times 0,0362^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{Slope (S)} = 0,00025$$

$$\text{Slope (S)} = \frac{\text{Headloss}}{\text{Panjang Saluran}}$$

$$0,00025 = \text{Hf} / 4 \text{ m}$$

$$\text{Headloss (Hf)} = 0,001 \text{ m}$$

Headloss total unit flokulasi

Setelah diperoleh nilai *headloss* yang terjadi akibat adanya gesekan pada saluran, dihitung pula besar *headloss* yang terjadi disebabkan oleh kecepatan aliran, sebagai berikut.

$$\text{Headloss kecepatan} = \frac{v^2}{2g} = \frac{0,197^2}{2 \times 9,81} = 0,00198 \text{ m}$$

Lalu *headloss* yang disebabkan adanya kecepatan air di bangunan, dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach yaitu sebagai berikut.

$$H_L = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g}$$

Dimana :

$$f = \text{Koefisien Darcy} = 1,5 \times (0,01989 + \frac{0,000508}{4R})$$

$$L = \text{Panjang bangunan (m)}$$

$$R = \text{Jari-jari hidrolis}$$

$$v = \text{Kecepatan Aliran (m/s)}$$

$$g = \text{Percepatan gravitasi (9,81 m/s}^2\text{)}$$

Diketahui nilai kecepatan air pada bangunan flokulasi sebagai berikut.

$$v = \frac{\text{Panjang}}{\text{Waktu Lintasan}} = \frac{4,05 \text{ m}}{\frac{15 \times 60 \text{ detik}}{1,7 \times 0,5}} = 0,0045 \text{ m/detik}$$

$$R = \frac{A/P}{2h+l} = \frac{\frac{l \times h}{2}}{(2 \times 0,5) + 1,7} = 0,315$$

$$f = 1,5 \times (0,01989 + \frac{0,000508}{4R})$$

$$= 1,5 \times (0,01989 + \frac{0,000508}{0,315}) = 0,0304$$

$$H_L = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$= 0,0304 \times \frac{4,05 \text{ m}}{4 \times 0,315} \times \frac{0,0045^2}{2 \times 9,81} = 1,009 \times 10^{-7} \text{ m}$$

Karena *headloss* bangunan sangat kecil, maka diabaikan. Sehingga besar *headloss* total pada bangunan flokulasi menuju sedimentasi 2 adalah :

$$\text{Headloss} = H_f + H_v$$

$$= 0,001 \text{ m} + 0,00198 \text{ m} = 0,00298 \text{ m}$$

Gambar rancangan bak pengaduk lambat terlampir pada lampiran D gambar no. 7 dan 8.

5.5.3. Desain Unit Sedimentasi II

Desain zona pengendap

Diketahui berdasarkan percobaan laboratorium bahwa waktu pengendapan selama 35 menit, dan menghasilkan lumpur sebanyak 28mL dari 1L sampel. Dihitung removal TSS berdasarkan percobaan laboratorium :

$$\begin{aligned} \text{TSSin (mg/L)} &= 97 \text{ mg/L} \\ \text{TSSout (mg/L)} &= 24 \text{ mg/L} \\ \% \text{ removal} &= \frac{\text{TSSin} - \text{TSS out}}{\text{TSS in}} \times 100\% \\ &= \frac{97 - 24}{97} \times 100\% = 75,25\% \end{aligned}$$

Berdasarkan waktu pengendapan di lab, waktu detensi *scale up* yang dibutuhkan untuk mencapai efisiensi 75,25% adalah sebagai berikut.

$$\text{Td scale up} = 1,75 \times \text{td lab} = 1,75 \times 35 = 61,25 \text{ menit}$$

Namun karena berdasar kriteria desain td adalah 2 - 4 jam (td minimum 2 jam), maka diterapkan pengendapan selama 2 jam. Lalu, diketahui berdasar pengamatan laboratorium, bahwa partikel mulai mengendap total selama 35 menit. Maka diketahui kecepatan pengendapan partikel sebagai berikut.

$$\text{Tinggi lintasan} = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Waktu terendap} = 35 \text{ menit}$$

$$\text{So} = \frac{0,15}{35 \times 60 \text{ detik}} = 0,0000714 \text{ m/s}$$

Maka dimensi bak,

$$\text{Qdesain} = 90,59 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,003234 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Jumlah bak} = 1 \text{ buah}$$

$$\text{A surface} = \text{Q/So}$$

$$= 0,003234/0,0000714 = 45,29 \text{ m}^2$$

$$\text{Rasio p:l} = 2 : 1$$

$$\text{Lebar} = \sqrt{(A \text{ surface}/2)}$$

$$= \sqrt{(45,29/2)} = 4,75 \text{ m}$$

$$\text{Panjang} = 9,5 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman} = \frac{Q \times \text{td}}{A \text{ surface}}$$

$$= \frac{11,64 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 2 \text{ jam}}{45,29 \text{ m}^2} = 0,52 \text{ m}$$

$$\text{V horizontal (Vh)} = \frac{P}{\text{td}} = \frac{9,5 \text{ m}}{2 \times 3600 \text{ s}} = 0,0013 \text{ m/s}$$

Kontrol penggerusan (*scouring*) ; k = 0,04 ; f = 0,02

$$d = \sqrt{\frac{18 \times v \times v}{(Ss-1)g}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{18 \times 0,0000714 \times 8,975 \times 10^{-7}}{(1,5-1) \times 9,81}} = 1,53 \times 10^{-5} \text{ m} \\
 V_{sc} &= \sqrt{\frac{8k \times (S_s-1) \times g \times d}{f}} \\
 &= \sqrt{\frac{8 \times 0,04 \times (1,5-1) \times 9,81 \times 4,555 \times 10^{-5}}{0,02}} = 0,035 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Karena $V_h < V_{sc}$ maka tidak akan terjadi penggerusan. Selanjutnya dihitung nilai bilangan Froud (N_{Fr}) dan bilangan Reynold (N_{Re}) untuk menentukan apakah dimensi bak pengendap 2 telah memenuhi syarat.

$$\begin{aligned}
 N_{Fr} &= \frac{V_h^2}{g \times R} \\
 R &= A/P = \frac{l \times h}{2h+l} = \frac{4,75 \times 0,5}{(2 \times 0,5)+4,75} = 0,413 \\
 N_{Fr} &= \frac{0,0013^2}{9,81 \times 0,413} = 4,2 \times 10^{-7} \text{ (} > 10^{-5} \text{, tidak memenuhi)} \\
 N_{Re} &= \frac{V_h \times R}{\nu} = \frac{0,0013 \times 0,413}{8,975 \times 10^{-7}} = 598,2 \text{ (<2000, memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Karena nilai N_{Fr} tidak memenuhi maka dilakukan perhitungan desain *perforated baffle* pada sedimentasi 2. Direncanakan :

- *Perforated baffle* diletakkan setelah zona inlet (1 m)
- Diameter lubang sebesar 20 cm (0,2 m)
- Panjang baffle = Lebar bak = 4,75 m
- Tinggi baffle = 0,5 m

Desain *perforated baffle*

$$\begin{aligned}
 A_{\text{baffle}} &= \text{Panjang baffle} \times \text{tinggi baffle} \\
 &= 4,75 \times 0,5 = 2,375 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Luas tiap lubang} = 1/4 \times \pi \times D^2 = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bil. Froud (} N_{Fr} \text{)} &= \frac{v_h^2}{g \times R} \rightarrow N_{Fr} \text{ direncanakan } > 10^{-5} \\
 10^{-5} &= \frac{v_h^2}{9,81 \times \frac{1}{4} \times 0,2} \rightarrow v_h = 0,0022 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{total lubang}} &= Q/v_h \\
 &= \frac{0,003234}{0,0022} = 1,47 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Maka jumlah lubang yang dibutuhkan adalah :

$$\text{Jumlah lubang} = \frac{A_{\text{total lubang}}}{A_{\text{tiap lubang}}} = \frac{1,47 \text{ m}^2}{0,0314 \text{ m}^2} = 45 \text{ lubang}$$

$$\text{Jumlah lubang vertikal} = 2$$

$$\text{Jumlah lubang horizontal} = 22$$

Jarak antar lubang :

$$\begin{aligned}\text{Jarak lubang vertikal} &= \frac{h \text{ baffle} - (\text{jumlah ver} \times d)}{\text{jumlah ver} + 1} \\ &= \frac{0,5 - (2 \times 0,2)}{2 + 1} = 0,033 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak lubang horizontal} &= \frac{l \text{ baffle} - (\text{jumlah hor} \times d)}{\text{jumlah hor} + 1} \\ &= \frac{4,7 - (22 \times 0,2)}{22 + 1} = 0,013 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Headloss pada baffle} &= \frac{v^2}{2g} \\ &= \frac{0,0022^2}{2 \times 9,81} = 2,46 \times 10^{-7} \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Headloss total} &= \text{HL} \times \text{jumlah lubang} \\ &= 2,46 \times 10^{-7} \text{ m} \times 45 = 1,11 \times 10^{-5} \text{ m}\end{aligned}$$

Desain zona lumpur

$$Q_{\text{ave}} = 90,59 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,003234 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$p_{\text{ss}} = 1500 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{TSS}_{\text{in}} = 97 \text{ mg/L}$$

$$\text{TSS}_{\text{out}} = 24 \text{ mg/L}$$

$$\text{SS teremoval} = 97 \text{ mg/L} - 24 \text{ mg/L} = 73 \text{ mg/L}$$

Berdasarkan persamaan oleh Cornwell, *et al* (1987), beban solid yang dihasilkan pada proses koagulasi-flokulasi ialah sebagai berikut.

$$W = 8,34 \times Q \times (0,8 \text{ Al} + \text{SS})$$

Dimana :

$$W = \text{Berat solid total (lb/hari)}$$

$$Q = \text{Debit (mgd)}$$

$$\text{Al} = \text{Dosis penambahan aluminium (mg/L)}$$

$$\text{SS} = \text{Total Suspended Solids teremoval (mg/L)}$$

$$Q = 90,59 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,024 \text{ mgd}$$

$$W = 8,34 \times 0,024 \times ((0,8 \times 300) + 73)$$

$$= 62,63 \text{ lb/hari} \times 0,453 = 28,37 \text{ kg/hari}$$

Diketahui bahwa kadar solid dalam lumpur sebanyak 5%.

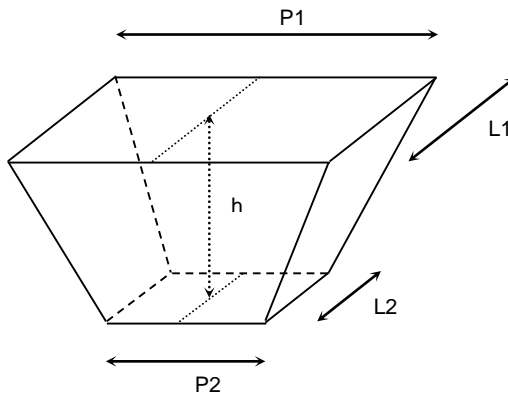
Maka dihitung berat total lumpur, sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Berat lumpur} &= \text{Berat SS} \times \frac{100\%}{5\%} \\ &= 28,37 \text{ kg/hari} \times \frac{100\%}{5\%} = 567,4 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa jenis lumpur} &= (\text{pss} \times \%ss) + (\text{pair} \times \%air) \\
 &= (1500 \times 5\%) + (997,1 \times 95\%) \\
 &= 1022,25 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Volume lumpur} &= \text{Berat/Massa jenis} \\
 &= 567,4 \text{ kg/hari} / 1022,25 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 0,555 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Direncanakan pengurasan dilakukan setiap 1 hari sekali, maka total volume lumpur tiap pengurasan 0,555 m³.

Direncanakan ruang lumpur berbentuk limas terpancung, maka dimensi dari ruang lumpur adalah sebagai berikut.



Gambar 5.16. Ruang Lumpur Sedimentasi 2

$$\begin{aligned}
 \text{Volume ruang lumpur} &= \text{Volume limas terpancung} \\
 &= \frac{1}{3} \times h \times (A1 + A2 + \sqrt{(A1 \times A2)})
 \end{aligned}$$

Direncanakan :

$$H \text{ ruang lumpur} = 0,3 \text{ m}$$

$$L1 \text{ (m)} = \text{Lebar pengendap} = 4,7 \text{ m}$$

$$P1 \text{ (m)} = \frac{1}{5} \times 3,6 = 0,94 \text{ m} = 1 \text{ m}$$

$$A1 \text{ (m}^2\text{)} = 4,7 \text{ m}^2$$

$$\text{Vol. Lumpur} = \frac{1}{3} \times h \times (A1 + A2 + \sqrt{(A1 \times A2)})$$

$$0,555 \text{ m}^3 = \frac{1}{3} \times 0,3 \times (4,7 + A2 + \sqrt{(4,7 \times A2)})$$

$$5,55 = 4,7 + A2 + \sqrt{(4,7 \times A2)}$$

$$0,85 = A2 + \sqrt{(4,7 \times A2)} = 0,12 \text{ m}^2$$

$$A2 = P2 \times L2 ; p:l = 1 : 5$$

$$0,12 \text{ m}^2 = 5P2^2 \rightarrow P2 = 0,155 \text{ m} ; L2 = 0,775 \text{ m}$$

Maka, dihitung kapasitas pompa dan dimensi pipa penguras lumpur yang dibutuhkan, yaitu sebagai berikut.

Pompa penguras lumpur

$$Q \text{ pompa} = 10 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,166 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{Waktu kuras} = \frac{\text{Volume lumpur}}{Q \text{ pompa}} = \frac{0,555 \text{ m}^3}{0,166 \text{ m}^3/\text{menit}} = 3,33 \text{ menit}$$

Jenis pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal non-clogging 4P (1450 rpm) ukuran 50 – 160 dari produsen pompa CNP.

Pipa penguras lumpur

$$v \text{ rencana} = 0,6 \text{ m/s}$$

$$\text{Luas pipa} = Q/v$$

$$= \frac{0,166 \text{ m}^3/\text{menit}}{0,6 \text{ m/detik}} = 0,0046 \text{ m}^2$$

$$\text{Diameter pipa} = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,0046}{\pi}} = 0,077 \text{ m} = 7,7 \text{ cm}$$

$$\text{Diameter dalam pasaran} = \text{OD } 3'' \rightarrow \text{ND } 81,4 \text{ mm}$$

$$\text{Cek kecepatan} = Q/A$$

$$= \frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{0,166 \text{ m}^3/\text{menit}}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,0814^2} = 0,532 \text{ m/detik}$$

Selanjutnya, dihitung *mass balance* air limbah pada proses koagulasi-flokulasi dan sedimentasi 2, yaitu sebagai berikut.

Mass Balance

$$Q_{in} = 90,59 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{BOD}_{in} = 224 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD}_{in} = 430 \text{ mg/L}$$

$$\text{TSS}_{in} = 97 \text{ mg/L}$$

$$\text{Fenol}_{in} = 1,44 \text{ mg/L}$$

$$\text{Pb} = 0,165 \text{ mg/L}$$

$$\text{Cu} = 0,018 \text{ mg/L}$$

$$\text{Zn} = 0,085 \text{ mg/L}$$

Beban yang masuk :

$$\text{BOD} = \text{BOD}_{in} \times Q$$

$$\begin{aligned}
 &= 224 \text{ mg/L} \times 90,59 \text{ m}^3/\text{hari} = 20,292 \text{ kg/hari} \\
 \text{COD} &= \text{COD}_{\text{in}} \times Q \\
 &= 430 \text{ mg/L} \times 90,59 \text{ m}^3/\text{hari} = 38,954 \text{ kg/hari} \\
 \text{TSS} &= \text{TSS}_{\text{in}} \times Q \\
 &= 97 \text{ mg/L} \times 90,59 \text{ m}^3/\text{hari} = 8,787 \text{ kg/hari} \\
 \text{Fenol} &= \text{Fenol}_{\text{in}} \times Q \\
 &= 1,44 \text{ mg/L} \times 90,59 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,13 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, diketahui bahwa lumpur yang terendapkan pada unit dwitunggal ini adalah sebesar $0,566 \text{ m}^3/\text{hari}$, sedangkan volume larutan aluminium sulfat yang ditambahkan adalah $0,1 \text{ m}^3/\text{hari}$. Maka debit yang akan masuk ke unit pengolahan selanjutnya adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Qefluen} &= Q_{\text{in}} + Q_{\text{alum}} - Q_{\text{lumpur}} \\
 &= 90,59 \text{ m}^3/\text{hari} + 0,1 \text{ m}^3/\text{hari} - 0,566 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 90,124 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Lalu diketahui efluen serta beban yang keluar dari rangkaian unit koagulasi-flokulasi dan sedimentasi 2 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_{\text{ef}} &= 43 \text{ mg/L} \\
 \text{COD}_{\text{ef}} &= 82 \text{ mg/L} \\
 \text{TSS}_{\text{ef}} &= 24 \text{ mg/L} \\
 \text{Fenol}_{\text{(ef)}} &= 0,84 \text{ mg/L} \\
 \text{Pb} &= \text{MDL} \\
 \text{Cu} &= \text{MDL} \\
 \text{Zn} &= \text{MDL}
 \end{aligned}$$

Beban effluen :

$$\begin{aligned}
 \text{BOD} &= \text{BOD}_{\text{efluen}} \times \text{Qefluen} \\
 &= 43 \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} = 3,875 \text{ kg/hari} \\
 \text{COD} &= \text{COD}_{\text{efluen}} \times \text{Qefluen} \\
 &= 82 \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} = 7,39 \text{ kg/hari} \\
 \text{TSS} &= \text{TSS}_{\text{efluen}} \times \text{Qefluen} \\
 &= 24 \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} = 2,163 \text{ kg/hari} \\
 \text{Fenol} &= \text{Fenol}_{\text{efluen}} \times \text{Qefluen} \\
 &= 0,84 \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,075 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Maka efektifitas removal serta beban pencemar yang tereduksi pada unit koagulasi-flokulasi dan sedimentasi 2 ini adalah sebesar :

Efektifitas removal

$$\begin{aligned}\% \text{removal BOD} &= \frac{(BOD \text{ in} - BOD \text{ ef})}{BOD \text{ in}} \times 100\% \\ &= \frac{(224 \text{ mg/L} - 43 \text{ mg/L})}{224 \text{ mg/L}} \times 100\% = 80,804\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{removal COD} &= \frac{(COD \text{ in} - COD \text{ ef})}{COD \text{ in}} \times 100\% \\ &= \frac{(430 \text{ mg/L} - 82 \text{ mg/L})}{430 \text{ mg/L}} \times 100\% = 80,93\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{removal TSS} &= \frac{(TSS \text{ in} - TSS \text{ ef})}{TSS \text{ in}} \times 100\% \\ &= \frac{(97 \text{ mg/L} - 24 \text{ mg/L})}{97 \text{ mg/L}} \times 100\% = 75,25\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{removal fenol} &= \frac{(Fenol \text{ in} - Fenol \text{ ef})}{Fenol \text{ in}} \times 100\% \\ &= \frac{(1,44 \text{ mg/L} - 0,84 \text{ mg/L})}{1,44 \text{ mg/L}} \times 100\% = 41,66\%\end{aligned}$$

Beban pencemar teremoval

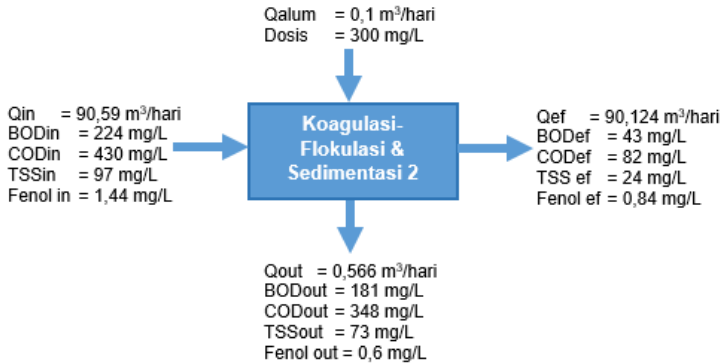
$$\begin{aligned}\text{Beban COD teremoval} &= \text{Beban CODin} - \text{CODef} \\ &= 38,954 \text{ kg/hari} - 7,39 \text{ kg/hari} \\ &= 31,564 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban BOD teremoval} &= \text{Beban BODin} - \text{BODef} \\ &= 20,292 \text{ kg/hari} - 3,875 \text{ kg/hari} \\ &= 16,417 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban TSS teremoval} &= \text{Beban TSSin} - \text{TSSef} \\ &= 8,787 \text{ kg/hari} - 2,163 \text{ kg/hari} \\ &= 6,624 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban Fenol teremoval} &= \text{Beban Fenol in} - \text{Fenol ef} \\ &= 0,13 \text{ kg/hari} - 0,075 \text{ kg/hari} \\ &= 0,055 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

Berikut merupakan diagram alir konsentrasi pencemar dari unit koagulasi-flokulasi dan sedimentasi 2.



Gambar 5.17. Diagram Alir Konsentrasi Unit Koagulasi-Flokulasi

Desain zona outlet

Direncanakan outlet dari sedimentasi 2 menggunakan pipa PVC, panjang pipa direncanakan sepanjang 2 m. Karena outlet menggunakan pipa PVC, maka nilai $n = 0,009$. Selanjutnya dihitung besar *headloss* yang terjadi pada saluran.

Direncanakan :

Kecepatan pada pipa = 0,2 m/detik

Debit air limbah = 90,124 m³/hari = 0,003129 m³/detik

$$A \text{ (m}^2\text{)} = \frac{Q}{v} = \frac{0,003129 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,2 \text{ m/detik}} = 0,0156 \text{ m}^2$$

$$\text{Diameter (m)} = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}}$$

$$\text{Diameter (m)} = \sqrt{\frac{4 \times 0,015}{\pi}} \rightarrow D = 0,1411 \text{ m}$$

Diameter dalam pasaran = 144,6 mm = 0,1446 m

$$\begin{aligned} \text{Cek kecepatan (v)} &= \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{0,003129}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,1446^2} = 0,191 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{D}{4} = \frac{0,1446}{4} = 0,0362$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan (v)} &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \\ 0,191 \text{ m/s} &= \frac{1}{0,009} \times 0,0362^{2/3} \times S^{1/2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Slope (S)} &= 0,000245 \\ \text{Slope (S)} &= \frac{\text{Headloss}}{\text{Panjang Saluran}} \\ 0,000245 &= H_f / 2 \text{ m} \\ \text{Headloss (Hf)} &= 0,00049 \text{ m}\end{aligned}$$

Setelah diperoleh nilai *headloss* yang terjadi akibat adanya gesekan pada saluran, dihitung pula besar *headloss* yang terjadi disebabkan oleh kecepatan aliran, sebagai berikut.

$$\text{Headloss kecepatan} = \frac{v^2}{2g} = \frac{0,191^2}{2 \times 9,81} = 0,00188 \text{ m}$$

Maka besar *headloss* total :

$$\begin{aligned}\text{Headloss} &= H_f + H_v \\ &= 0,00049 \text{ m} + 0,00186 \text{ m} \\ &= 0,00235 \text{ m}\end{aligned}$$

Setelah diketahui bahwa zona outlet yang ada, maka dihitung dimensi total dari unit sedimentasi, sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Panjang} &= \text{Panjang zona inlet} + \text{pengendap} + \text{outlet} \\ &= 1 \text{ m} + 9,5 \text{ m} + 0,5 \text{ m} = 11 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Lebar} = \text{Lebar zona pengendap} = 4,75 \text{ m}$$

Gambar rancangan bak sedimentasi 2 terlampir pada lampiran D gambar no. 9.

5.5.4. Desain Unit *Constructed Wetland* (CW)

Direncanakan :

$$\begin{aligned}\text{Jumlah CW} &= 1 \\ \text{Kedalaman media} &= 1 - 2 \text{ m (} T. latifolia \text{)} \\ \text{Media yang digunakan} &= \text{Medium gravel}\end{aligned}$$

- $K_s = 5000 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}^{(*)}$
- $\alpha = 0,4^{(*)}$
- $K_{20} = 1,104^{(*)}$
- Kemiringan = $0,01^{(*)}$

(Keterangan $^{(*)}$: EPA, 1990)

Diketahui karakteristik limbah yang masuk ke CW :

$$\begin{aligned}Q_{in} &= 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{BOD} &= 43 \text{ mg/L} \\ \text{COD} &= 82 \text{ mg/L} \\ \text{TSS} &= 24 \text{ mg/L} \\ \text{pH} &= 7,11 \\ \text{Cd} &= 0,354 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\text{Fenol} = 0,84 \text{ mg/L}$$

$$\text{Suhu} = 25^{\circ}\text{C}$$

Karena suhu di daerah perencanaan tidak dapat diperkirakan dengan pasti, maka diasumsikan bahwa suhu minimum sama dengan suhu normal pada daerah perencanaan.

Kedalaman media CW ditentukan berdasarkan jenis tumbuhan yang digunakan pada sistem CW yang direncanakan (Wallace dan Robert, 2006). Berdasarkan Castro *et al* (2009), diketahui bahwa *Typha latifolia* mampu mereduksi pencemar logam kadmium (Cd) hingga $\pm 90\%$ dalam waktu 1-10 hari, dan berdasarkan H.C. Tee *et al* (2009), *Typha latifolia* mampu mereduksi kadar fenol hampir mendekati 100% dalam waktu 1-12 hari. Maka dari itu dalam perencanaan CW ini akan digunakan tanaman *Typha latifolia*. Tanaman *Typha latifolia* sendiri memiliki kemampuan penetrasi rizoma sedalam 1 – 2 m (maksimal 2 m, umumnya berkisar sekitar 1 m). Oleh karena itu kedalaman media (*medium gravel*) yang akan diterapkan adalah 1 m.

Direncanakan :

$$\text{Panjang} = 12 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 8 \text{ m}$$

Nilai laju konstan suhu (K_T) pada temperatur air limbah batik (suhu air limbah = 25°C) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$K_T = K_{20} (1,1)^{T-20}, T \text{ dalam } ^{\circ}\text{C}$$

$$K_{25} = 1,104 (1,1)^{25-20} = 1,78/\text{hari}$$

Waktu detensi *pore-space* (t')

$$\begin{aligned} t' &= \frac{L \times w \times \alpha \times d}{Q} \\ &= \frac{12 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 0,4 \times 1,5 \text{ m}}{90,124 \text{ m}^3/\text{hari}} = 0,64 \text{ hari} \end{aligned}$$

Maka konsentrasi BOD effluen adalah sebagai berikut.

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_T \cdot t'}$$

$$\frac{C_e}{43} = e^{-1,78 \cdot 0,64}$$

$$C_e = 13,76 \text{ mg/L (memenuhi baku mutu yang ada)}$$

Maka %removal media CW adalah sebesar :

$$\begin{aligned} \% \text{removal BOD media} &= \frac{BOD_{in} - BOD_{ef}}{BOD_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{43 - 13,76}{43} \times 100\% = 68\% \end{aligned}$$

Luas permukaan CW (As)

$$\begin{aligned} As &= L \times w \\ &= 12 \text{ m} \times 8 \text{ m} = 96 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka dimensi dari CW adalah :

$$\text{Panjang} = 12 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Kedalaman} &= \text{Tinggi medium gravel} + \text{small gravel} + F_b \\ &= 1 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m} = 1,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Pengecekan *Hydraulic Loading Rate* (HLR)

$$\begin{aligned} \text{HLR} &= \frac{Q}{As} \\ &= \frac{90,124 \text{ m}^3/\text{hari}}{96 \text{ m}^2} = 0,939 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} = 93,9 \text{ cm/hari} \end{aligned}$$

(OK, memenuhi $< 1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$ (Ellis *et al*, 2003))

Pada perencanaan CW ini, dibuat saluran penampung air sebelum masuk ke dalam media *wetland*. Saluran ini direncanakan sebagai berikut.

$$\text{Lebar} = 8 \text{ m (sesuai lebar CW)}$$

$$\text{Kedalaman} = 1,5 \text{ m (sesuai kedalaman CW)}$$

$$\text{Panjang} = 1 \text{ m}$$

Direncanakan *perforated baffle* sebagai berikut.

$$\text{Diameter lubang} = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Panjang baffle} = \text{lebar bak} = 8 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi baffle} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Tebal baffle} = 0,1 \text{ m}$$

Desain *perforated baffle*

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = A/P = \frac{1}{4} D = \frac{1}{4} \times 0,1 \text{ m} = 0,025 \text{ m}$$

$$\text{Bil. Reynold (N}_{Re}\text{)} = \frac{v h \times R}{\rho} \rightarrow N_{Re} \text{ direncanakan } < 2000$$

$$1000 = \frac{v h \times 0,025}{8,975 \times 10^{-7}} \rightarrow v h = 0,036 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} A \text{ total lubang} &= Q/vh \\ &= \frac{0,003129}{0,036} = 0,087 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka jumlah lubang yang dibutuhkan adalah :

$$\text{Jumlah lubang} = \frac{A \text{ total lubang}}{A \text{ tiap lubang}} = \frac{0,087 \text{ m}^2}{0,00785 \text{ m}^2} = 12 \text{ lubang}$$

$$\text{Jumlah lubang vertikal} = 2$$

$$\text{Jumlah lubang horizontal} = 6$$

Jarak antar lubang :

$$\text{Jarak lubang vertikal} = \frac{h \text{ baffle} - (\text{jumlah ver} \times d)}{\text{jumlah ver} + 1}$$

$$= \frac{1 - (2 \times 0,1)}{2+1} = 0,27 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak lubang horizontal} &= \frac{l \text{ baffle} - (\text{jumlah hor} \times d)}{\text{jumlah hor} + 1} \\ &= \frac{8 - (6 \times 0,1)}{6+1} = 1,05 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Headloss pada baffle} &= \frac{v^2}{2g} \\ &= \frac{0,036^2}{2 \times 9,81} = 6,605 \times 10^{-5} \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Headloss total} &= \text{HL} \times \text{jumlah lubang} \\ &= 6,605 \times 10^{-5} \text{ m} \times 12 = 7,92 \times 10^{-4} \text{ m} \end{aligned}$$

Debit effluen

Debit yang masuk ke dalam CW dan debit yang keluar dari CW tidak akan sama, karena debit effluen CW dipengaruhi oleh laju evapotranspirasi (ET), presipitasi (P), dan infiltrasi (I). Debit effluen CW dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Q_{ef} = Q_{in} - Q_{ET} + Q_P + Q_I$$

Dimana :

Q_{ET} = Debit evapotranspirasi (m^3/hari)

Q_P = Debit presipitasi (m^3/hari)

Q_I = Debit infiltrasi (m^3/hari)

Diketahui bahwa :

ET = 28,55 mm/hari

P = 18,8 mm/hari

I = 0 mm/hari

$$\begin{aligned} Q \text{ evapotranspirasi } (Q_{ET}) &= A_s \times ET \\ &= 96 \text{ m}^2 \times \frac{28,55}{1000} \text{ m/hari} \\ &= 2,74 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit presipitasi } (Q_P) &= A_s \times P \\ &= 96 \text{ m}^2 \times \frac{18,8}{1000} \text{ m/hari} \\ &= 1,805 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit Effluen } (Q_{ef}) &= Q_{in} - Q_{ET} + Q_P \\ &= 90,124 - 2,74 + 1,805 \\ &= 89,189 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Lalu dihitung dimensi pipa effluen yang dibutuhkan.

Slope = 0,02 m

Panjang pipa = 1 m

Debit aliran keluar dari CW (Q) = 89,19 m³/hari
= 0,0031 m³/s = 3,097 L/s

Koefisien kekasaran pipa (C) = 120

Headloss pada pipa (Hf) = slope/L
= 0,02/1 = 0,02 m

Perhitungan diameter pipa menggunakan rumus turunan dari rumus Hazen-William.

$$H_f = \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L$$

$$0,02 = \left(\frac{3,097}{0,00155 \times 120 \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times 1$$

D = 6,5 cm → diameter dalam pipa pasaran = 6,78 cm

Kecepatan aliran dihitung dengan menggunakan diameter dalam pada pipa di pasaran, yaitu sebagai berikut.

$$v = Q/A \\ = \frac{0,0031 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,0678^2} = 0,86 \text{ m/s}$$

Degradasi BOD air limbah yang dibantu oleh adanya tanaman

Proses reduksi pencemar yang terjadi dalam unit CW, tidak hanya dipengaruhi oleh media, tetapi juga oleh tanaman dan *rhizobacteria*. *Rhizobacteria* adalah bakteri yang berkoloni pada akar dan hidup dengan simbiosis mutualisme dengan tanaman. *Rhizobacteria* mampu memanfaatkan kandungan pencemar dalam air limbah sebagai sumber nutrisi untuk hidup. Menurut Diaz, *et al.* (2014), *planted CW* umumnya memiliki nilai removal BOD yang lebih tinggi dibandingkan dengan *unplanted CW*. *Planted CW* memiliki nilai removal BOD 4,4% lebih tinggi dibanding *unplanted CW*. Berikut ini merupakan perhitungan konsentrasi BOD air limbah yang dapat direduksi oleh adanya tanaman.

Konsentrasi BOD masuk (BOD_{in}) = 43 mg/L

Konsentrasi BOD didegradasi tanaman (BOD_{dt})

$$\text{BOD}_{dt} = 4,4\% \times \text{BOD}_{in} \\ = 4,4\% \times 43 \text{ mg/L} = 1,892 \text{ mg/L}$$

Maka BOD effluen dari *planted CW* dalam perencanaan ini adalah :

$$\text{BOD}_{ef} = C_e - \text{BOD}_{dt}$$

$$= 13,76 \text{ mg/L} - 1,892 \text{ mg/L} = 11,868 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{removal planted CW} = 68\% + 4,4\% = 72,4\%$$

Kebutuhan tanaman untuk CW

Kerapatan tanaman pada perencanaan *horizontal subsurface* CW ini adalah 6 tanaman/m². Sehingga kebutuhan tanaman pada perencanaan ini dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan tanaman} &= \text{Luas CW} \times \text{kerapatan tanaman} \\ &= 96 \text{ m}^2 \times 6 \text{ tanaman/m}^2 \\ &= 576 \text{ tanaman} \end{aligned}$$

Sehingga tanaman yang dibutuhkan pada CW di perencanaan ini adalah 576 tanaman.

Penyisihan Total Suspended Solid (TSS)

Penyisihan TSS dapat dihitung menggunakan rumus dari Metcalf dan Eddy (2003) berikut ini :

$$C_e = C_o (0,1058 + (0,0011 \times \text{HLR}))$$

Keterangan :

C_e = Efluen TSS (mg/L)

C_o = Influen TSS (mg/L)

HLR = *Hydraulic loading rate* (cm/hari)

$$\begin{aligned} C_e &= 24 \text{ mg/L} (0,1058 + (0,0011 \times 93,9)) \\ &= 5,02 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{removal TSS} &= \frac{TSS_{in} - TSS_{ef}}{TSS_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{24 \text{ mg/L} - 5,02 \text{ mg/L}}{24 \text{ mg/L}} \times 100\% = 79,08\% \end{aligned}$$

Selanjutnya, dihitung *mass balance* air limbah pada proses biologis CW, yaitu sebagai berikut.

Mass Balance

Influen

$$Q_{in} = 90,124 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{BOD}_{in} = 43 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD}_{in} = 82 \text{ mg/L}$$

$$\text{TSS}_{in} = 24 \text{ mg/L}$$

$$\text{Fenol}_{in} = 0,84 \text{ mg/L}$$

Beban yang masuk :

$$\text{BOD} = \text{BOD}_{in} \times Q$$

$$= 43 \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} = 3,875 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned}
 \text{COD} &= \text{COD}_{\text{in}} \times Q \\
 &= 82 \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} = 7,39 \text{ kg/hari} \\
 \text{TSS} &= \text{TSS}_{\text{in}} \times Q \\
 &= 24 \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} = 2,163 \text{ kg/hari} \\
 \text{Fenol} &= \text{Fenol}_{\text{in}} \times Q \\
 &= 0,84 \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,075 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Lalu diketahui %removal dari unit *wetland* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_{\text{removal}} &= 72,4\% \\
 \text{COD}_{\text{removal}} &= (\text{diasumsikan sama dengan BOD}) \\
 &= 72,4\% \\
 \text{TSS}_{\text{removal}} &= 79,08\% \\
 \text{Fenol}_{\text{removal}} &= 95\%
 \end{aligned}$$

Maka konsentrasi pencemar yang telah tereduksi pada unit *wetland* ini adalah sebesar :

$$\begin{aligned}
 &\underline{\text{Effluen}} \\
 \text{Effluen BOD} &= (100 - \% \text{removal BOD}) \times \text{BOD}_{\text{in}} \\
 &= (100 - 72,4)\% \times 43 \text{ mg/L} \\
 &= 11,868 \text{ mg/L} \\
 \text{Effluen COD} &= (100 - \% \text{removal COD}) \times \text{COD}_{\text{in}} \\
 &= (100 - 72,4)\% \times 82 \text{ mg/L} \\
 &= 22,632 \text{ mg/L} \\
 \text{Effluen TSS} &= (100 - \% \text{removal TSS}) \times \text{TSS}_{\text{in}} \\
 &= (100 - 79,08)\% \times 24 \text{ mg/L} \\
 &= 5,02 \text{ mg/L} \\
 \text{Effluen Fenol} &= (100 - \% \text{removal Fenol}) \times \text{Fenol}_{\text{in}} \\
 &= (100 - 95)\% \times 0,84 \text{ mg/L} \\
 &= 0,042 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

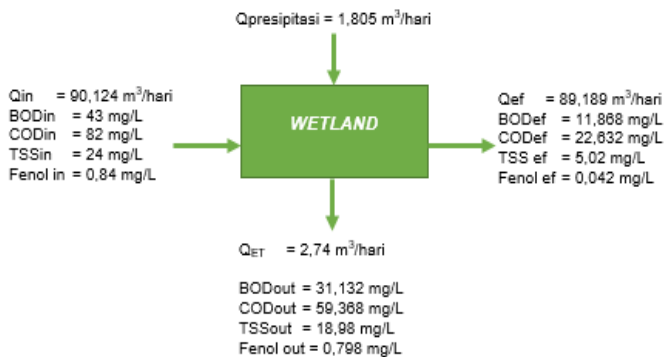
Beban effluen :

$$\begin{aligned}
 \text{BOD} &= \text{BOD}_{\text{effluen}} \times Q_{\text{effluen}} \\
 &= 11,868 \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} = 1,069 \text{ kg/hari} \\
 \text{COD} &= \text{COD}_{\text{effluen}} \times Q_{\text{effluen}} \\
 &= 22,632 \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} = 2,039 \text{ kg/hari} \\
 \text{TSS} &= \text{TSS}_{\text{effluen}} \times Q_{\text{effluen}} \\
 &= 5,02 \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,452 \text{ kg/hari} \\
 \text{Fenol} &= \text{Fenol}_{\text{effluen}} \times Q_{\text{effluen}} \\
 &= 0,042 \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,0038 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Beban pencemar teremoval

$$\begin{aligned}
 \text{Beban COD teremoval} &= (\text{CODin} - \text{CODef}) \times Q \\
 &= (82 - 22,63) \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 5,35 \text{ kg/hari} \\
 \text{Beban BOD teremoval} &= (\text{BODin} - \text{BODef}) \times Q \\
 &= (43 - 11,87) \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 2,805 \text{ kg/hari} \\
 \text{Beban TSS teremoval} &= (\text{TSSin} - \text{TSSef}) \times Q \\
 &= (24 - 5,02) \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 1,711 \text{ kg/hari} \\
 \text{Beban Fenol teremoval} &= (\text{Fenol in} - \text{Fenol ef}) \times Q \\
 &= (0,84 - 0,04) \text{ mg/L} \times 90,124 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,0712 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan diagram aliran konsentrasi pencemar dari unit *wetland*.



Gambar 5.18. Diagram alir konsentrasi pada *wetland*

5.5.5. Desain Unit Pengolah Lumpur

Direncanakan unit pengolahan lumpur dengan menggunakan *sludge drying bed*. Berat solid yang dihasilkan sebanyak 28,44 kg/hari dengan kadar solid 5%. Maka direncanakan :

- SDB berbentuk persegi panjang
- Jumlah bed = 1 buah
- Tebal lapisan kerikil = 25 cm
- Tebal lapisan pasir = 25 cm

- Tebal lapisan lumpur = 30 cm

$$\begin{aligned}\rho \text{ sludge} &= (\rho_{ss} \times \%ss) + (\rho_{air} \times \%air) \\ &= (1500 \times 5\%) + (997,1 \times 95\%) \\ &= 1022,25 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q \text{ sludge} &= \frac{W \text{ solid}}{\% \text{ solid} \times \rho \text{ sludge}} \\ &= \frac{28,44 \text{ kg/hari}}{0,05 \times 1022,25} = 0,56 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Waktu pembuangan lumpur} &= 1 \text{ hari} \\ \text{Volume lumpur} &= Q \text{ lumpur} \times \text{waktu} \\ &= 0,56 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ hari} = 0,56 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas bed} &= \frac{\text{Volume Lumpur}}{\text{Jumlah Bed} \times \text{Tebal lapisan lumpur}} \\ &= \frac{0,56 \text{ m}^3}{1 \times 0,3 \text{ m}} = 1,867 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Direncanakan dimensi bed dengan perbandingan panjang : lebar sebesar 2 : 1.

$$\begin{aligned}\text{Lebar} &= \sqrt{(A \text{ surface}/2)} \\ &= \sqrt{(1,867/2)} = 0,966 \text{ m} = 0,97 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Panjang} = 1,94 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard rencana} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman total bak} = H \text{ lumpur} + H \text{ kerikil} + H \text{ pasir} + Fb$$

$$\text{Kedalaman total bak} = 0,3 + 0,25 + 0,25 + 0,3 = 1,1 \text{ m}$$

Selanjutnya dihitung volume cake yang terbentuk jika direncanakan kadar air pada cake hanya sebesar 75% (kadar solid 25%).

$$\text{Kadar solid lumpur} = 5\%$$

$$\text{Kadar air lumpur} = 95\%$$

$$\text{Kadar solid cake} = 25\%$$

$$\text{Kadar air cake} = 75\%$$

$$\begin{aligned}\text{Volume cake} &= \frac{V (1 - \text{kadar air lumpur})}{(1 - \text{kadar air cake}) \times \text{Jumlah Bed}} \\ &= \frac{0,56 (1 - 0,95)}{(1 - 0,75) \times 1} = 0,112 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Setelah itu dilakukan perhitungan terhadap dimensi underdrain dibutuhkan, yaitu sebagai berikut.

Underdrain

- Orifice

$$\begin{aligned}Q \text{ air keluar} &= (V \text{ sludge} \times \text{kadar air}) - (V \text{ cake} \times \text{kadar air}) \\ &= (0,56 \text{ m}^3 \times 0,95) - (0,112 \text{ m}^3 \times 0,75) \\ &= 0,448 \text{ m}^3/\text{hari operasi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,56 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{Kecepatan orifice (v)} &= 0,008 \text{ m/s} \\
 \text{D orifice direncanakan} &= 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m} \\
 \text{Cd} &= 0,6 - 0,7 = 0,6 \\
 \text{Q orifice} &= \text{Cd} \times A \times v \\
 &= 0,6 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 0,02^2\right) \times 0,008 = 1,507 \times 10^{-6} \\
 \text{Jumlah orifice} &= \frac{Q \text{ air keluar}}{Q \text{ orifice}} = \frac{1,56 \times 10^{-5}}{1,507 \times 10^{-6}} = 10 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Manifold

Panjang pipa manifold = panjang SDB = 2,74 m = 3 m

Diameter pipa manifold = 10 cm = 0,1 m

Luas penampang = $\frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi 0,1^2 = 0,00785 \text{ m}^2$

Kecepatan (v) = Q/A

$$= \frac{1,56 \times 10^{-5}}{0,00785} = 0,002 \text{ m/s}$$

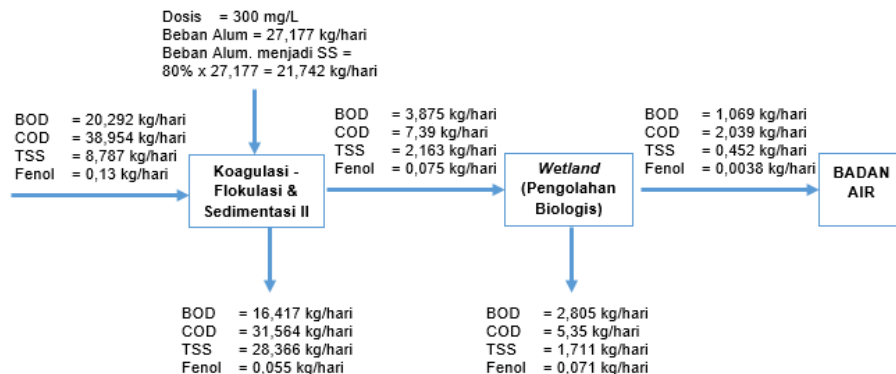
$$\begin{aligned}
 \text{Headloss pada lubang} &= \frac{1}{3} \times f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= \frac{1}{3} \times 0,03 \times \frac{3}{0,1} \times \frac{0,002^2}{2 \times 9,81} \\
 &= 6,12 \times 10^{-8} \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss pada ujung manifold} &= \left(\frac{1}{1-\beta^2}\right) \times Hf \\
 &= \left(\frac{1}{1-0,99^2}\right) \times 6,12 \times 10^{-8} \\
 &= 3,08 \times 10^{-6} \text{ m}
 \end{aligned}$$

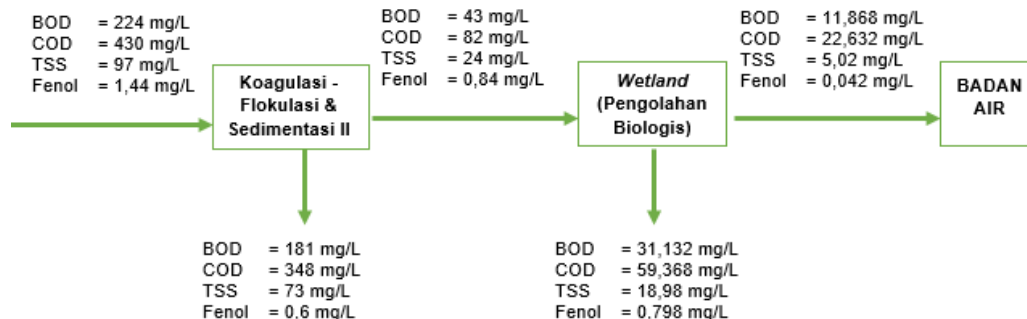
$$\begin{aligned}
 \text{Headloss total} &= Hf \text{ lubang} + Hf \text{ ujung} \\
 &= 6,12 \times 10^{-8} + 3,08 \times 10^{-6} \\
 &= 3,136 \times 10^{-6} \text{ m}
 \end{aligned}$$

Gambar rancangan unit *wetland* terlampir pada lampiran D gambar no. 10 dan 11.

Selanjutnya disusun diagram *mass balance* dan diagram alir konsentrasi dari keseluruhan unit IPAL. Diagram *mass balance* dibuat dengan tujuan untuk mengetahui beban yang masuk dan beban yang keluar dari masing-masing unit IPAL, sedangkan diagram konsentrasi bertujuan untuk mengetahui konsentrasi pencemar sebelum dan sesudah melalui suatu unit proses IPAL, setelah diketahui kualitas air limbah yang keluar dari IPAL, diketahui bahwa air limbah effluen telah memenuhi baku mutu yang ada. Diagram *mass balance* disajikan dalam gambar 5.14 dan diagram konsentrasi disajikan dalam gambar 5.15.



Gambar 5.19. Diagram *Mass Balance* IPAL



Gambar 5.20. Diagram Alir Konsentrasi IPAL

5.6. Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah gambaran perbandingan level muka air dengan elevasi tanah. Profil hidrolis ditentukan berdasarkan besaran penurunan level muka air akibat beberapa hal. Hal-hal yang menyebabkan terjadinya penurunan level muka air antara lain jatuhnya, belokan, kecepatan aliran air di bangunan, atau kecepatan air saat *melalui perofated baffle*. Menurut Marsono (1995) profil hidrolis perlu menggunakan persamaan headloss dalam bangunan dan pipa.

Dalam perhitungan *headloss* akibat kehilangan tekanan dalam pipa, menggunakan persamaan Hazen-William sebagai berikut.

$$H_f = \frac{L}{(0,00155 \times C \times D^{2,63})^{1,85}} \times Q^{1,85}$$

Dimana :

H_f = Major losses (m)

L = Panjang pipa (m)

Q = Debit (L/detik)

C = Koefisien kekasaran pipa (120 untuk pipa PVC)

D = Diameter pipa (cm)

Lalu *headloss* yang disebabkan adanya kecepatan air di bangunan, dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach yaitu sebagai berikut.

$$H_L = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g}$$

Dimana :

f = Koefisien Darcy = $1,5 \times (0,01989 + \frac{0,000508}{4R})$

L = Panjang bangunan (m)

R = Jari-jari hidrolis

v = Kecepatan Aliran (m/s)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Selanjutnya, *headloss* jatuhnya dan belokan akan dihitung dengan menggunakan rumus Manning. Persamaan manning dijabarkan sebagai berikut.

$$H_L = \left(\frac{v \times n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L$$

Dimana :

n = Koefisien kekasaran manning

R = Jari-jari hidrolis

L = Panjang jatuhnya atau belokan (m)

Besar seluruh *headloss* telah dihitung pada saat melakukan perhitungan desain bangunan, berikut merupakan perhitungan elevasi muka air pada instalasi pengolahan air limbah.

Kedalaman air terakhir pada pipa SPAL = - 1,65 m

Air di pompa menuju elevasi 4,2 m.

- Pengaduk Cepat (Koagulasi)
Elevasi pada bak sebelum terjunan = 4,2 m
Headloss terjadi = 0,37 m
Head terjunan = 0,5 m
Tinggi air di atas bak lintasan = $0,5 - 0,37 = 0,13$ m
Maka elevasi muka air pada bak lintasan adalah :
Elevasi pada bak lintasan = Elevasi awal – *Headloss*
= $4,2 - 0,37 = 3,83$ m
- Pengaduk Lambat (Flokulasi)
Elevasi pada bak lintasan koagulasi = 3,83 m
Headloss sepanjang bak
Head jatuhnya = $9,2 \times 10^{-4}$ m
Karena *head* jatuhnya sangat kecil, maka elevasi awal koagulasi diasumsikan hanya dipengaruhi beda tinggi yang direncanakan, yaitu 0,1 m.
Elevasi awal flokulasi = Elevasi koagulasi – F_b
Elevasi awal flokulasi = $3,83 - 0,1 = 3,73$ m
Headloss kompartemen 1 = 0,098 m
Headloss kompartemen 2 = 0,068 m
Headloss kompartemen 3 = 0,044 m
Maka elevasi muka air setelah masing-masing kompartemen adalah :
Elevasi setelah kompartemen 1 = $3,73 - 0,098 = 3,632$ m
Elevasi setelah kompartemen 2 = $3,63 - 0,068 = 3,564$ m
Elevasi setelah kompartemen 3 = $3,56 - 0,044 = 3,52$ m
- Sedimentasi 2
Headloss pipa outlet dari flokulasi = 0,00288 m
Elevasi awal sedimentasi 2 = Elevasi flokulasi - H_L
= $3,52 - 0,00288 = 3,517$ m

Headloss perforated baffle = $1,11 \times 10^{-5}$ m

Karena headloss sangat kecil, maka diabaikan. Sehingga ketinggian air pada saat setelah melalui *perforated baffle* adalah 3,517 m.

Headloss outlet sedimentasi 2 = 0,00235 m

- *Wetland*

Berikut merupakan perhitungan elevasi awal pada *wetland*.

Elevasi awal *Wetland* = Elevasi P. 2 - *Headloss*
= $3,517 - 0,00235$
= 3,5147 m

Headloss perforated baffle = $7,92 \times 10^{-4}$ m

Karena terdapat 2 *perforated baffle*. Sehingga headloss yang terjadi :

Headloss total = $2 \times 7,92 \times 10^{-4}$ m = $1,584 \times 10^{-3}$ m

Maka ketinggian air pada saat setelah melalui *perforated baffle* adalah :

Elevasi muka air keluar = Elevasi awal - *Headloss*
= $3,5147 - 0,00158$
= 3,513 m

Berikut merupakan tabel elevasi muka air pada masing-masing unit pengolahan air limbah.

Tabel 5.8. Elevasi muka air pada masing-masing unit

Unit Pengolahan	Elevasi Awal (m)	Elevasi Akhir (m)
Pengaduk Cepat	4,2	3,83
Pengaduk Lambat	3,73	3,52
Sedimentasi 2	3,517	3,517
<i>Wetland</i>	3,5147	3,513

5.7. Penyusunan Prosedur Pengoperasian dan Pemeliharaan Instalasi Pengolahan Air Limbah

5.7.1. Petunjuk Pengoperasian IPAL

1. Pipa Air Limbah

- Dilakukan pemeriksaan pada sambungan-sambungan pipa untuk mencegah adanya kebocoran

- Dilakukan pemeriksaan terhadap katup/*valve* pada setiap unit untuk memastikan bahwa katup dapat bekerja sesuai fungsi
 - Dilakukan pemeriksaan pada *gate valve* pipa utama, pastikan selalu terbuka sebagai mana mestinya
2. *Holding Tank*
- Seluruh peralatan elektrik (pompa) harus dipastikan dalam keadaan berjalan dengan baik
3. Bak Pembubuh Koagulan
- Menentukan dosis koagulan yang dibutuhkan sesuai dengan percobaan *jar test* dan pengecekan kualitas air limbah (dosis koagulan disarankan pada rentang 100 – 300 mg/L), lalu dihitung kebutuhan larutan
 - Dilakukan pemeriksaan sistem catudaya menuju pompa pembubuh
 - Dilakukan pembersihan pada semua pipa yang berhubungan dengan pompa pembubuh
 - Periksa dan pastikan semua mur/baut pengikat telah diperkuat sesuai petunjuk pemasangan
 - Pastikan *check valve* berfungsi dengan baik
 - Cara pengoperasian pompa *dosing* yaitu sebagai berikut :
 - a) isi tangki pembubuhan bahan kimia dengan larutan bahan kimia yang sudah dilarutkan (homogen), sebelum pompa dosing dihidupkan
 - b) periksa tegangan power induk *Non-Fuse Breaker* (NFB) dari *fase* ke *fase* dengan alat ukur atau *multi-tester* sehingga menunjukkan tegangan 220/380 Volt
 - c) naikan NFB pada tiap-tiap pompa dosing, sehingga pompa siap untuk dioperasikan
 - d) tekan tombol ON (*start*), pompa dosing akan bekerja dan lampu indikator akan menyala
4. Bak Pengaduk Cepat
- Operasikan pompa pembubuh aluminium sulfat atau soda abu dan stel stroke pompa sesuai dengan perhitungan atau ada jenis pompa kimia lain yang penyetalan strokenya dilakukan pada saat pompa tidak dioperasikan

- Amati unjuk kerja pompa pembubuh, persediaan dan aliran larutan bahan kimia dengan menambah atau mengurangi stroke pompa
 - Pertahankan keadaan seperti pada awal operasi, dan lakukan penyesuaian bila diperlukan
 - Atur pH sehingga sama dengan pH pada waktu jar tes
5. Bak Pengaduk Lambat
- Amati flok-flok yang terbentuk, apakah terbentuk dengan baik, apabila tidak, periksa kembali pH air di pengaduk cepat dan lakukan penyesuaian-penyesuaian pembubuhan
 - Periksa pembentukan buih di permukaan air dan bersihkan apabila terjadi
6. Sedimentasi 2
- Periksa fungsi katup-katup dan tutup pipa penguras
 - Alirkan air dari pengaduk lambat ke bak pengendap
 - Bersihkan buih atau bahan-bahan yang terapung
 - Periksa kekeruhan air yang keluar dari bak sedimentasi
 - Lakukan pembuangan lumpur sesuai dengan rencana yaitu dengan pompa penguras lumpur
7. *Constructed Wetland*
- Dilakukan pemeriksaan keseluruhan terhadap struktur *wetland* dari kemungkinan adanya retakan yang dapat berujung dengan terjadinya kebocoran
 - Dipersiapkan media *gravel* dengan ukuran 10 mm dan 30 mm. Basahi media dengan air, dan pastikan *gravel* tidak tercampur
 - Dipersiapkan tumbuhan untuk CW yaitu *Typha latifolia*. Pastikan tanaman dalam keadaan sehat dan tidak layu.
8. Sludge Drying Bed
- Lumpur baku dialirkan ke bak pengering melalui bak pembagi dan dibiarkan diatas lapisan pasir selama maksimum 15 hari.
 - Pengeringan lumpur dicapai dengan :
 - a) peresapan air melalui lapisan pasir dan kerikil ke pipa *underdrain*

b) penguapan air pada lumpur yang tertinggal di atas lapisan pasir

- Setelah kandungan air mencapai 60 - 75%, lumpur kering dapat dipindahkan menggunakan sekop. Lumpur tidak boleh dibiarkan terlalu kering (hingga kadar air 20 – 30%) karena akan menjadi debu dan susah untuk dipindahkan.

5.7.2. Petunjuk Pemeliharaan IPAL

1. Pipa Air Limbah

- Dilakukan pemeriksaan dan bersihkan jika terdapat lumpur atau endapan di pipa
- Dilakukan pembersihan pada area di sekitar pipa

2. *Holding Tank*

Pada unit *holding tank*, terdapat 1 buah pompa *submersible* air limbah, dengan petunjuk pemeliharaan sebagai berikut.

- Ukur dan periksa tahanan isolasi motor pompa
- Hitung efisiensi pompa
- Ganti oli dan periksa mesin pompa
- Periksa kabel pompa
- Lakukan *overhaul* pompa
- Lakukan pengecatan

3. Bak Pembubuh Aluminium

- Bersihkan alat pembubuh bahan kimia dan sarana lingkungan pencampur kimia
- Periksa dan bersihkan bak dan pengaduk kimia dengan air
- Bersihkan bak pengaduk kimia dengan asam encer
- Periksa dan perbaiki bak dan pengaduk kimia bila terjadi kerusakan

4. Bak Pengaduk Cepat

- Bersihkan alat pembubuh bahan kimia dan sarana lingkungan pencampur kimia selama 2 hari sekali
- Periksa dan bersihkan bak dan pengaduk kimia dengan air selama 1 minggu sekali
- Jika terjadi kerak, bersihkan bak pengaduk kimia dengan asam encer, periksa selama 2 bulan sekali

- Periksa dan perbaiki bak dan pengaduk kimia bila terjadi kerusakan, sesuai dengan kebutuhan
5. Bak Pengaduk Lambat
- Periksa dan bersihkan, serta sistem ruang alat pengaduk lambat (*baffle*) selama 2 hari sekali
 - Bersihkan busa dan kotoran-kotoran yang mengapung di atas permukaan air setiap hari
 - Periksa pertumbuhan lumut dan bersihkan jika ada
 - Periksa pertumbuhan lumut pada dinding bak pengaduk lambat. Lakukan pembubuhan kaporit atau bahan desinfektan lainnya dengan dosis yang cukup;
 - Periksa fungsi dari peralatan tersebut setiap bulan dan bila perlu dilakukan perbaikan atau penggantian bagian-bagian yang tidak berfungsi
6. Sedimentasi 2
- Bersihkan alur pengendapan
 - Periksa kebocoran pipa dan katup pembuang lumpur, perbaiki bila terjadi kebocoran
 - Periksa, lakukan pengurasan bak, bersihkan dengan desinfektan
 - Perbaiki kerusakan yang terjadi di alur pengendapan, perpipaan katup-katup dan alur pengumpul.
7. *Constructed Wetland*
- Dilakukan perawatan terhadap *wetland* dengan menyirami tanaman selama 2 hari sekali, dapat dilakukan pada pagi hari ataupun sore hari. Lakukan pergantian tanaman jika terdapat yang layu
 - Dilakukan pengambilan sampel air pada inlet dan outlet *wetland* setiap 1 bulan sekali untuk mengetahui kualitas influen dan effluen
 - Pencucian media *gravel* dilakukan selama 6 bulan sekali. Lakukan pencucian saat pukul 11.00 – 14.00. Pencucian dilakukan dengan cara :
 - Tutup valve influen *wetland* untuk menghentikan aliran masuk ke *wetland*
 - Biarkan *wetland* hingga kering (1–2 hari)
 - Buka kembali valve influen *wetland* agar air limbah mengalir kembali

- Lakukan pembersihan pada pipa inlet dan outlet setiap 2 hari sekali
- Apabila terjadi banjir atau air meluap di atas media *wetland*, maka katup pada pipa inlet ditutup, lalu dilakukan pengecekan. Apabila terjadi penyumbatan, maka dilakukan pembersihan
- Lakukan pembersihan *wetland* dari tanaman lain selain *Typha latifolia* setiap 1 minggu sekali
- Lakukan pemotongan tanaman *Typha latifolia* yang telah dewasa setiap 3-4 bulan sekali. Hasil panen dapat digunakan sebagai kompos ataupun pakan hewan.

8. *Sludge Drying Bed*

- Dilakukan pembersihan pipa inlet lumpur dan pipa peresapan air / fitrat (underdrain)
- Apabila setelah hujan lebat, di atas permukaan pasir masih kosong biasanya akan terdapat kotoran yang menggumpal dan akan mengganggu proses pengeringan sehingga perlu dibersihkan atau dikeruk
- Pada saat pengerukan, yang perlu diperhatikan apakah ada lapisan pasir yang terangkat. Apabila ada, maka dilakukan penambahan pasir agar ketebalan media di dalam bak pengering lumpur tetap terjaga

5.8. Penyusunan Nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) SPAL

5.8.1. BOQ Pengadaan Pipa

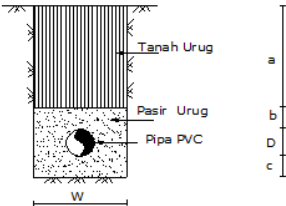
Dalam perencanaan ini digunakan jenis pipa PVC. Data masing masing diameter dan panjang pipa diketahui dari perhitungan sebelumnya. Setiap batang pipa memiliki panjang 4 m dengan harga satuan per 4 m sehingga didapat perincian BOQ perpipaan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.9. BOQ Kebutuhan Pipa

No	Jalur Pipa	Diameter Luar		L	Panjang Pipa per Batang	Jumlah Pipa	Jenis Pipa
		cm	m	(m)	m	buah	
Pipa Persil							
1	1-A	11	0.11	15	4	4	uPVC
2	2-B	11	0.11	10	4	3	uPVC
3	3-C	11	0.11	8	4	2	uPVC
4	4-E	11	0.11	16	4	4	uPVC
5	5-F	11	0.11	12	4	3	uPVC
Pipa Servis							
1	A-B	11	0.11	28	4	7	uPVC
2	B-D	11	0.11	42	4	11	uPVC
3	C-D	11	0.11	38.8	4	10	uPVC
4	D-E	14	0.14	85	4	22	uPVC
5	E-F	14	0.14	44.6	4	12	uPVC
6	F-IPAL	14	0.14	80.4	4	21	uPVC

5.8.2. BOQ Penanaman Pipa

Untuk penggalian pipa direncanakan pada keadaan tanah stabil (normal) seperti Gambar 5.21. Untuk gambar penanaman galian pipa normal dapat dilihat melalui gambar tipikal pada lampiran. Penanaman pipa dari muka tanah direncanakan sesuai dengan diameter pipa yang dapat dilihat pada gambar 5.21 berikut.



GALIAN NORMAL

Gambar 5.21 Galian Normal Pipa Penyalur Air Limbah
Adapun nilai a, b, c, D, dan w telah diatur dalam standar Departemen Pekerjaan Umum yang dapat dilihat melalui tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10. Standar Galian Departemen Pekerjaan Umum

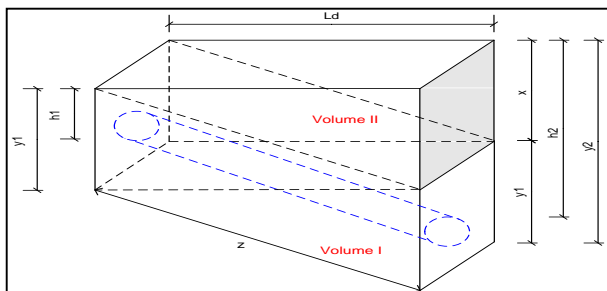
No	Diameter (mm)	L	h pipa	h tanah	h pasir atas	h pasir bawah
		abcd	w	a	b	c
1	50 -200	100 -115	55 - 60	65 - 75	15	15
2	150 - 200	120 - 125	65 - 70	75	15	15
3	250 - 300	130 - 135	75 - 80	75	15	15
4	350 - 400	140 -150	85 - 95	75	15	15
5	500 - 600	160 -170	100 -110	75	15	15
6	600 -700	180 - 190	120 -130	75	15	15
7	700 -900	190 - 200	140 - 150	75	15	15
8	900 - 1100	200 - 210	160 -170	75	15	15
9	1100 - 1300	210 - 220	180 -190	75	15	15

Maka dimensi dari galian pada jalur pipa penyalur air limbah batik dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5.11. Dimensi Galian Pipa SPAL

No.	Jalur Pipa	L Pipa	D apply		w	a	b	c	bDc	abDc
		m	cm	m	m	m	m	m	m	m
Pipa Persil										
1	1-A	15	11	0.11	0.51	0.65	0.15	0.15	0.41	1.06
2	2-B	10	11	0.11	0.51	0.65	0.15	0.15	0.41	1.06
3	3-C	8	11	0.11	0.51	0.65	0.15	0.15	0.41	1.06
4	4-E	16	11	0.11	0.51	0.65	0.15	0.15	0.41	1.06
5	5-F	12	11	0.11	0.51	0.65	0.15	0.15	0.41	1.06
Pipa Servis										
1	A-B	28	11	0.11	0.51	0.65	0.15	0.15	0.41	1.06
2	B-D	42	11	0.11	0.51	0.65	0.15	0.15	0.41	1.06
3	C-D	38.8	11	0.11	0.51	0.65	0.15	0.15	0.41	1.06
4	D-E	85	14	0.14	0.54	0.65	0.15	0.15	0.44	1.09
5	E-F	44.6	14	0.14	0.54	0.65	0.15	0.15	0.44	1.09
6	F-IPAL	80.4	14	0.14	0.54	0.65	0.15	0.15	0.44	1.09

Untuk gambar bentuk galian pipa sepanjang saluran dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut ini.



Gambar 5.22. Bentuk Galian Direncanakan Sepanjang Saluran

Perhitungan BOQ untuk galian pipa sepanjang saluran adalah sebagai berikut :

- D = diameter pipa.
- h_1 = kedalaman penanaman pipa awal (sampai dasar pipa).
- h_2 = kedalaman penanaman pipa akhir (sampai dasar pipa).
- y = kedalaman galian = $h + c$.
- y_1 = kedalaman galian awal.
- y_2 = kedalaman galian akhir.
- $x = y_2 - y_1$,
- $z = ((y_1^2) + (L \text{ pipa}^2))^{1/2}$
- $w = ((0,3 \times 2) + D)$
- Volume galian I = $w \times y_1 \times z$
- Volume galian II = $\frac{1}{2} \times w \times x' \times z$
- Volume galian total = Volume galian I + Volume galian II
- Volume pipa = $\frac{1}{4} \pi D^2 \times Ld$
- Volume urugan pasir = $(w \times (b + D + c) \times Ld) - \text{Volume pipa}$
- Volume tanah urug = Volume galian total – Volume urugan pasir – Volume pipa
- Volume sisa galian tanah = Volume galian total – Volume tanah urug

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan galian dan urugan pipa.

Tabel 5.12. BOQ Galian dan Urugan Sepanjang Jalur Pipa

No.	Jalur Pipa	L Pipa		D apply		Kedalaman Penggalian		Y1	Y2	X	Z	Volume Galian (m3)		Volume Galian Total (m3)	Volume Pipa (m3)	Volume Urugan Pasir (m3)	Volume Tanah Urug (m3)	Volume Sisa Tanah Galian (m3)
		m	mm	m	awal	akhir	m	m	m	m	I	II						
Pipa Persil																		
1	1-A	15	11	0.11	0.61	0.66	0.76	0.81	0.05	15.02	5.82	0.38	6.20	0.14	2.99	3.07	3.14	
2	2-B	10	11	0.11	0.61	0.76	0.76	0.91	0.15	10.03	3.89	0.77	4.65	0.09	2.00	2.56	2.09	
3	3-C	8	11	0.11	0.61	0.76	0.76	0.91	0.15	8.04	3.11	0.61	3.73	0.08	1.60	2.06	1.67	
4	4-E	16	11	0.11	0.61	0.96	0.76	1.11	0.35	16.02	6.21	2.86	9.07	0.15	3.19	5.72	3.35	
5	5-F	12	11	0.11	0.61	1.16	0.76	1.31	0.55	12.02	4.66	3.37	8.03	0.11	2.40	5.52	2.51	
Pipa Servis																		
1	1-A-B	28	11	0.11	0.66	0.76	0.81	0.91	0.10	28.01	11.57	1.43	13.00	0.27	5.59	7.15	5.85	
2	2-B-D	42	11	0.11	0.76	0.86	0.91	1.01	0.10	42.01	19.50	2.14	21.64	0.40	8.38	12.86	8.78	
3	3-C-D	38.8	11	0.11	0.66	0.76	0.81	0.91	0.10	38.81	16.03	1.98	18.01	0.37	7.74	9.90	8.11	
4	4-D-E	85	14	0.14	0.89	0.99	1.04	1.14	0.10	85.01	47.74	4.59	52.33	1.31	18.89	32.13	20.20	
5	5-E-F	44.6	14	0.14	0.99	1.09	1.14	1.24	0.10	44.61	27.46	2.41	29.87	0.69	9.91	19.28	10.60	
6	6-F-IPAL	80.4	14	0.14	1.09	1.19	1.24	1.34	0.10	80.41	53.84	4.34	58.18	1.24	17.87	39.08	19.10	

Sehingga, setelah diperoleh volume tanah galian dan urugan yang dibutuhkan, dapat dihitung BOQ untuk pekerjaan penanaman pipa. Dengan meninjau HSPK, berikut merupakan tabel ketentuan pekerjaan yang dilakukan dalam penanaman pipa SPAL.

Tabel 5.13. Ketentuan dalam Pekerjaan Pipa

No	Bidang	Indeks Satuan (oh)	Harga Satuan (Rp)	Harga
1	Pembongkaran 1 m3 beton dengan <i>jack hammer</i>			
	kuli / tenaga lapangan	1.2	65000	78000
	mandor / tenaga pengawas	0.12	85000	10200
2	Penggalian tanah untuk konstruksi			
	kuli / tenaga lapangan	0.750	65000	48750
	mandor / tenaga pengawas	0.025	85000	2125
3	Pengurugan pasir (padat)			
	Pasir urug (m3)	1.2	200000	240000
	kuli / tenaga lapangan	0.300	65000	19500
	mandor / tenaga pengawas	0.010	85000	850
4	Pengurugan tanah kembali			
	kuli / tenaga lapangan	0.102	65000	6630
	mandor / tenaga pengawas	0.019	85000	1615
5	Pengangkutan tanah dari lubang galian dalamnya > 1 m			
	kuli / tenaga lapangan	0.150	65000	9750
	mandor / tenaga pengawas	0.008	85000	637.5
6	Pemasangan 1 m pipa PVC diameter 110 mm			
	kuli / tenaga lapangan	0.105	65000	6825
	mandor / tenaga pengawas	0.011	85000	935
	tukang pipa	0.053	85000	4505
7	Pemasangan 1 m pipa PVC diameter 150 mm			
	kuli / tenaga lapangan	0.118	65000	7670
	mandor / tenaga pengawas	0.012	85000	1020
	tukang pipa	0.059	85000	5015
8	Pengembalian kondisi seperti semula			
	pekerja biasa	0.799	60000	47940
	kuli / tenaga lapangan	0.300	65000	19500
	mandor / tenaga pengawas	0.099	85000	8415

Lalu untuk menghitung jumlah pekerja maupun bahan yang ada, dikalikan volume yang dibutuhkan dengan koefisien yang ada. Berikut merupakan tabel perhitungan BOQ pekerja dan bahan berdasar aktivitas dilakukan.

Tabel 5.14. BOQ Pekerja dan Bahan dalam Pembongkaran Beton

No.	Jenis Pipa	Jalur Pipa	Panjang Pipa (m)	Volume Beton Total (m³)	Jumlah Tenaga Lapangan (oh)	Jumlah Tenaga Pengawas (oh)
1	PVC	Seluruh jalur	318.8	63.76	77	8

Tabel 5.15. BOQ Pekerja dan Bahan dalam Galian Tanah

No.	Jenis Pipa	Jalur Pipa	Panjang Pipa (m)	Volume Galian Total (m³)	Jumlah Tenaga Lapangan (oh)	Jumlah Tenaga Pengawas (oh)
Pipa Persil						
1	PVC	1-A	15	6.20	5	1
2	PVC	2-B	10	4.19	4	1
3	PVC	3-C	8	3.36	3	1
4	PVC	4-E	16	8.33	7	1
5	PVC	5-F	12	7.17	6	1
Pipa Servis						
1	PVC	A-B	28	11.71	9	1
2	PVC	B-D	42	19.71	15	1
3	PVC	C-D	38.8	16.23	13	1
4	PVC	D-E	85	48.20	37	2
5	PVC	E-F	44.6	26.50	20	1
6	PVC	F-IPAL	80.4	52.10	40	2

Tabel 5.16. BOQ Pekerja dan Bahan dalam Urugan Pasir

No.	Jenis Pipa	Jalur Pipa	Panjang Pipa (m)	Volume Urugan Pasir (m³)	Jumlah Tenaga Lapangan (oh)	Jumlah Tenaga Pengawas (oh)
Pipa Persil						
1	PVC	1-A	15	2.99	1	1
2	PVC	2-B	10	2.00	1	1
3	PVC	3-C	8	1.60	1	1
4	PVC	4-E	16	3.19	1	9
5	PVC	5-F	12	2.40	1	1
Pipa Servis						
1	PVC	A-B	28	5.59	2	1
2	PVC	B-D	42	8.38	3	1
3	PVC	C-D	38.8	7.74	2	1
4	PVC	D-E	85	18.89	5	1
5	PVC	E-F	44.6	9.91	3	1
6	PVC	F-IPAL	80.4	17.87	5	1

Tabel 5.17. BOQ Pekerja dan Bahan dalam Pekerjaan Urugan Tanah Kembali

No.	Jenis Pipa	Jalur Pipa	Panjang Pipa (m)	Volume Urugan Tanah (m³)	Jumlah Tenaga Lapangan (oh)	Jumlah Tenaga Pengawas (oh)
Pipa Persil						
1	PVC	1-A	15	3.07	1	1
2	PVC	2-B	10	2.10	1	1
3	PVC	3-C	8	1.69	1	1
4	PVC	4-E	16	4.99	1	1
5	PVC	5-F	12	4.67	1	1
Pipa Servis						
1	PVC	A-B	28	5.86	1	1
2	PVC	B-D	42	10.93	2	1
3	PVC	C-D	38.8	8.12	1	1
4	PVC	D-E	85	28.00	3	1
5	PVC	E-F	44.6	15.90	2	1
6	PVC	F-IPAL	80.4	33.00	4	1

Tabel 5.18. BOQ Pekerja dan Bahan dalam Pengangkutan Tanah dari Lubang Galian

No.	Jenis Pipa	Jalur Pipa	Panjang Pipa (m)	Volume Sisa Galian (m³)	Jumlah Tenaga Lapangan (oh)	Jumlah Tenaga Pengawas (oh)
Pipa Persil						
1	PVC	1-A	15	3.14	1	1
2	PVC	2-B	10	2.09	1	1
3	PVC	3-C	8	1.67	1	1
4	PVC	4-E	16	3.35	1	1
5	PVC	5-F	12	2.51	1	1
Pipa Servis						
1	PVC	A-B	28	5.85	1	1
2	PVC	B-D	42	8.78	2	1
3	PVC	C-D	38.8	8.11	2	1
4	PVC	D-E	85	20.20	4	1
5	PVC	E-F	44.6	10.60	2	1
6	PVC	F-IPAL	80.4	19.10	3	1

Tabel 5.19. BOQ Pekerja dan Bahan dalam Pemasangan
Pipa PVC 110 mm

No.	Jenis Pipa	Jalur Pipa	Panjang Pipa (m)	Jumlah Tukang Pipa (oh)	Jumlah Tenaga Lapangan (oh)	Jumlah Tenaga Pengawas (oh)
Pipa Persil						
1	PVC	1-A	15	1	2	1
2	PVC	2-B	10	1	2	1
3	PVC	3-C	8	1	1	1
4	PVC	4-E	16	1	2	1
5	PVC	5-F	12	1	2	1
Pipa Servis						
1	PVC	A-B	28	2	3	1
2	PVC	B-D	42	3	5	1
3	PVC	C-D	38.8	3	5	1
4	PVC	D-E	85	5	9	1
5	PVC	E-F	44.6	3	5	1
6	PVC	F-IPAL	80.4	5	9	1

Tabel 5.20. BOQ Pekerja dan Bahan dalam Pemasangan
Pipa PVC 150 mm

No.	Jenis Pipa	Jalur Pipa	Panjang Pipa (m)	Jumlah Tukang Pipa (oh)	Jumlah Tenaga Lapangan (oh)	Jumlah Tenaga Pengawas (oh)
Pipa Persil						
1	PVC	1-A	15	1	2	1
2	PVC	2-B	10	1	2	1
3	PVC	3-C	8	1	1	1
4	PVC	4-E	16	1	2	1
5	PVC	5-F	12	1	2	1
Pipa Servis						
1	PVC	A-B	28	2	4	1
2	PVC	B-D	42	3	5	1
3	PVC	C-D	38.8	3	5	1
4	PVC	D-E	85	6	11	2
5	PVC	E-F	44.6	3	6	1
6	PVC	F-IPAL	80.4	5	10	1

Tabel 5.21. BOQ Pekerja dan Bahan dalam Pengembalian
Kondisi Seperti Semula

No.	Jenis Pipa	Jalur Pipa	Panjang Pipa (m)	Volume Beton Total (m³)	Jumlah Tenaga Lapangan (oh)	Jumlah Tenaga Pengawas (oh)	Jumlah Pekerja Biasa (oh)
1	PVC	Seluruh jalur	318.8	63.76	20	7	51

5.8.3. RAB Pengadaan dan Pekerjaan Pipa SPAL

Maka setelah diperoleh nilai BOQ dari mulai pengadaan jumlah pipa hingga pekerjaan yang dilakukan. Berikut merupakan rencana anggaran biaya untuk pengadaan dan pekerjaan pipa SPAL.

Tabel 5.22 Biaya Pengadaan Pipa

No.	Jalur	Diameter (mm)	Material	Satuan (m)	Panjang Pipa yang Dibutuhkan	Jumlah Pipa (buah)	Harga Satuan (per 4 m)	Total Harga
1	1-A	110	PVC	4	15	4	93800	375200
2	2-B	110	PVC	4	10	3	93800	281400
3	3-C	110	PVC	4	8	2	93800	187600
4	4-E	110	PVC	4	16	4	93800	375200
5	5-F	110	PVC	4	12	3	93800	281400
6	A-B	110	PVC	4	28	7	93800	656600
7	B-D	110	PVC	4	42	11	93800	1031800
8	C-D	110	PVC	4	38.8	10	93800	938000
9	D-E	140	PVC	4	85	22	151600	3335200
10	E-F	140	PVC	4	44.6	12	151600	1819200
11	F-IPAL	140	PVC	4	80.4	21	151600	3183600
Anggaran Biaya Total Dibutuhkan untuk Pengadaan Pipa								12465200

Tabel 5.23. Biaya Pekerjaan Pipa

Pembongkaran 1 m3 beton dengan jack hammer						
Upah :	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga	Jumlah	Harga Total
Mandor	0.120	oh	65000	7800	8	Rp520,000.00
Kuli/Pembantu Tukang	1.2	oh	85000	102000	77	Rp6,545,000.00
Total Biaya						Rp7,065,000.00
Penggalian tanah untuk konstruksi						
Upah :	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga	Jumlah	Harga Total
Mandor	0.025	oh	65000	1625	13	Rp845,000.00
Kuli/Pembantu Tukang	0.75	oh	85000	63750	159	Rp13,515,000.00
Total Biaya						Rp14,360,000.00
Pengurugan Pasir (Padat)						
Bahan :	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga	Jumlah	Harga Total
Pasir Urug	1.2	m3	200000	172200	80.56	Rp16,111,454.94
Upah :	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga	Jumlah	Harga Total
Mandor	0.010	oh	65000	650	19	Rp1,235,000.00
Kuli/Pembantu Tukang	0.300	oh	85000	25500	25	Rp2,125,000.00
Total Biaya						Rp19,471,454.94

Lanjutan tabel 5.23. Biaya Pekerjaan Pipa

Pengurungan Tanah Kembali						
Upah :	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga	Jumlah	Harga Total
Mandor	0.025	oh	65000	1625	13	Rp845,000.00
Kuli/Pembantu Tukang	0.75	oh	85000	63750	6	Rp510,000.00
Total Biaya						Rp1,355,000.00
Pengangkutan Tanah Sisa Galian						
Upah :	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga	Jumlah	Harga Total
Mandor	0.008	oh	65000	520	11	Rp715,000.00
Kuli/Pembantu Tukang	0.15	oh	85000	12750	19	Rp1,615,000.00
Total Biaya						Rp2,330,000.00
Pemasangan 1 m pipa PVC diameter 110 mm						
Upah :	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga	Jumlah	Harga Total
Mandor	0.011	oh	85000	935	11	Rp935,000.00
Kuli/Pembantu Tukang	0.105	oh	65000	6825	45	Rp2,925,000.00
Tukang Pipa	0.053	oh	85000	4505	26	Rp2,210,000.00
Total Biaya						Rp3,860,000.00
Pemasangan 1 m pipa PVC diameter 150 mm						
Upah :	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga	Jumlah	Harga Total
Mandor	0.012	oh	85000	1020	12	Rp1,020,000.00
Kuli/Pembantu Tukang	0.118	oh	65000	7670	50	Rp3,250,000.00
Tukang Pipa	0.059	oh	85000	5015	27	Rp2,295,000.00
Total Biaya						Rp4,270,000.00
Pengembalian kondisi seperti semula						
Upah :	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga	Jumlah	Harga Total
Mandor	0.099	oh	85000	8415	7	Rp595,000.00
Kuli/Pembantu Tukang	0.300	oh	65000	19500	20	Rp1,300,000.00
Pekerja Biasa	0.799	oh	85000	67915	51	Rp4,335,000.00
Total Biaya						Rp1,895,000.00

Setelah dilakukan perhitungan rencana anggaran biaya, diperoleh bahwa jumlah biaya total yang dibutuhkan dalam pengadaan dan pekerjaan pipa SPAL sebesar Rp. 67.071.655,00.

5.9. Penyusunan Nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Bangunan Pelengkap

Pada perencanaan ini, diketahui terdapat 2 jenis bangunan pelengkap yang dibutuhkan, yaitu bak kontrol yang akan dipasang pada masing-masing IKM, dan *manhole* yang akan dipasang berdasar kebutuhannya dari jarak yang ada.

5.9.1 Penyusunan Nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Manhole

Pada perencanaan ini terdapat 2 jenis *manhole* yang digunakan, yaitu *manhole* lurus dan pertigaan, dengan jumlah masing-masing jenis manhole sebanyak 2 buah.

Dalam pembangunan bangunan *manhole*, digunakan pekerjaan tipikal untuk bangunan *manhole*, yaitu dengan tahapan pekerjaan sebagai berikut :

- Pengukuran dan pemasangan *bouplank*
- Penggalan tanah untuk konstruksi
- Pengurugan pasir (padat)
- Pengurugan tanah kembali
- Pengangkutan tanah dari lubang galian yang dalamnya > 1 m
- Pembuatan 1 m³ lantai kerja beton mutu menggunakan campuran beton fc' 7,4 MPa
- Pemasangan 1 m³ pondasi batu celah campuran 1SP : 4PP
- Pemasangan 1 m² dinding *conblock* HB20 campuran 1SP : 4PP
- Pemasangan 1 m² plesteran 1SP : 4PP tebal 20 mm

Sehingga diperoleh nilai *bill of quantity* serta besar anggaran biaya yang dibutuhkan untuk membangun tipikal 1 bangunan *manhole*, yaitu sebagai berikut.

Tabel 5.24. BOQ dan RAB Pembuatan *Manhole*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi tipikal	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
1	Pengukuran dan Pemasangan <i>Bouplank</i> (m')								
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.2	65000	78000	0.64	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.12	85000	10200	0.64	1	85000	
2	Penggalian tanah untuk konstruksi (m3)								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	0.51	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	0.51	1	85000	
3	Pengurugan pasir (padat) (m3)								
	Pasir urug (m3)		1.2	200000	240000	0.03	1	200000	350000
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.300	65000	19500	0.03	1	65000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.010	85000	850	0.03	1	85000	

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi tipikal	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
4	Pengurugan tanah kembali (m3)								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.102	65000	6630	0.27	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.019	85000	1615	0.27	1	85000	
5	Pengangkutan tanah dari lubang galian dalamnya > 1 m								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.150	65000	9750	0.24	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.008	85000	637.5	0.24	1	85000	
6	Pembuatan 1 m3 lantai kerja beton mutu menggunakan campuran beton fc' 7,4 Mpa								
	Semen Portland	kg	227	1100	249700	0.06	-	14982	354210
	Pasir Beton	m3	0.618	350000	216300	0.06	-	12978	
	Kerikil	m3	0.744	140000	104160	0.06	-	6250	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.320	65000	85800	0.06	1	65000	
	tukang batu	OH	0.220	85000	18700	0.06	1	85000	

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi tipikal	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	kepala tukang batu	OH	0.022	85000	1870	0.06	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.132	85000	11220	0.06	1	85000	
7	Pemasangan 1 m3 pondasi batu belah campuran 1SP : 4PP								
	Batu Belah	m3	1.2	250000	300000	0.05	-	15000	352285
	Semen Portland	kg	163	1100	179300	0.05	-	8965	
	Pasir Pasang	m3	0.52	320000	166400	0.05	-	8320	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.500	65000	97500	0.05	1	65000	
	tukang batu	OH	0.750	85000	63750	0.05	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.075	85000	6375	0.05	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.075	85000	6375	0.05	1	85000	
8	Pemasangan 1 m2 dinding conblock HB20 campuran 1SP : 4PP								
	HB - 20	m3	12.5	6100	76250	0.41	-	31263	467393

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi tipikal	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	Semen Portland	kg	24.26	1100	26686	0.41	-	10941	
	Pasir Pasang	m3	0.772	320000	247040	0.41	-	101286	
	Besi angker diameter 8	kg	0.28	34000	9520	0.41	-	3903	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.350	65000	22750	0.41	1	65000	
	tukang batu	OH	0.150	85000	12750	0.41	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.015	85000	1275	0.41	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.018	85000	1530	0.41	1	85000	
9	Pemasangan 1 m2 plesteran 1SP : 4PP tebal 20 mm								
	PC (Portland Cement)	Kg	8.32	1100	9152	4.44	-	40635	471101
	PP (Pasir Plester)	m3	0.032	320000	10240	4.44	-	45466	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.400	65000	26000	4.44	2	130000	
	tukang batu	OH	0.200	85000	17000	4.44	1	85000	

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi tipikal	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	kepala tukang batu	OH	0.020	85000	1700	4.44	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.022	85000	1870	4.44	1	85000	
Biaya Total Tipikal Pembangunan Tiap Manhole									2594989

5.9.2 Penyusunan Nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Bak Kontrol

Pada perencanaan ini terdapat beberapa bak kontrol yang diletakkan pada masing-masing IKM yang ada dan diletakkan pada halaman depan IKM batik.

Dalam pembangunan bangunan bak kontrol, digunakan pekerjaan tipikal untuk bangunan bak kontrol, yaitu dengan tahapan pekerjaan sebagai berikut :

- Penggalian tanah untuk konstruksi
- Pengangkutan tanah dari lubang galian yang dalamnya > 1 m
- Pembuatan 1 m³ lantai kerja beton mutu menggunakan campuran beton fc' 7,4 MPa
- Pemasangan 1 m² plesteran 1SP : 4PP tebal 20 mm

Sehingga diperoleh nilai *bill of quantity* serta besar anggaran biaya yang dibutuhkan untuk membangun tipikal 1 bangunan bak kontrol, yaitu sebagai berikut.

Tabel 5.25. BOQ dan RAB Pembuatan Satu Bak Kontrol

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi tipikal	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
1	Penggalian tanah untuk konstruksi (m3)								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	0.04	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	0.04	1	85000	
2	Pengangkutan tanah dari lubang galian dalamnya > 1 m								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.150	65000	9750	0.04	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.008	85000	637.5	0.04	1	85000	
3	Pembuatan 1 m3 lantai kerja beton mutu menggunakan campuran beton fc' 7,4 Mpa								
	Semen Portland	kg	227	1100	249700	0.01	-	2497	325702
	Pasir Beton	m3	0.618	350000	216300	0.01	-	2163	
	Kerikil	m3	0.744	140000	104160	0.01	-	1042	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.320	65000	85800	0.01	1	65000	
	tukang batu	OH	0.220	85000	18700	0.01	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.022	85000	1870	0.01	1	85000	

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi tipikal	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.132	85000	11220	0.01	1	85000	
4	Pemasangan 1 m2 plesteran 1SP : 4PP tebal 20 mm								
	PC (Portland Cement)	Kg	8.32	1100	9152	0.5	-	4576	329696
	PP (Pasir Plester)	m3	0.032	320000	10240	0.5	-	5120	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.400	65000	26000	0.5	1	65000	
	tukang batu	OH	0.200	85000	17000	0.5	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.020	85000	1700	0.5	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.022	85000	1870	0.5	1	85000	
Biaya Total Tipikal Pembangunan Tiap Bak Kontrol									955398

5.10. Penyusunan Nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) IPAL

Perhitungan *bill of quantity* (BOQ) dalam perencanaan ini meliputi pembersihan lahan, penggalian tanah biasa untuk konstruksi, pengurugan pasir dengan pemadatan. Terdapat pula pekerjaan beton K-225, pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos), pekerjaan bekisting lantai dan dinding, dan pemasangan pipa air kotor.

Sedangkan rencana anggaran biaya (RAB) adalah hasil perhitungan antara volume pekerjaan (BOQ) dengan harga satuan yang telah dikalikan indeks sesuai SNI DT 2007, dan HSPK Kota Semarang 2017. Pada perencanaan ini biaya RAB akan dihitung sesuai dengan pekerjaan tiap unit IPAL.

Pada perencanaan ini, unit *holding tank* dibangun sepenuhnya terbenam/di bawah tanah, unit koagulasi-flokulasi dibangun sepenuhnya di atas tanah, sedangkan unit sedimentasi 2, *wetland*, dan *sludge drying bed* dibangun dengan sebagian terbenam oleh tanah.

5.10.1 Penyusunan Nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) *Holding Tank*

a. Pembersihan Lahan = Panjang total unit x lebar total
= 5,1 m x 5,1 m = 26,01 m²

b. Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi

Pada pekerjaan ini, tanah digali dengan bentuk tampak samping adalah segiempat. Rumus = panjang total x lebar total x (kedalaman bangunan yang digali + tebal pasir + tebal batu kali + *freeboard* + tebal lantai kerja + tebal tutup)

Kedalaman bangunan = 1,5 m

Tebal pasir = 0,1 m

Tebal batu kali = 0,1 m

Tebal lantai kerja = 0,05 m

Tebal lantai bak = 0,1 m

Freeboard = 0,85 m

Tebal tutup = 0,2 m

Maka dimensi penggalian tanah untuk konstruksi adalah :

Holding Tank = 5,1 m x 5,1 m x 2,9 m

= 75,429 m³

c. Pengurugan Pasir dengan Pemadatan

- Pengurugan = Panjang total x lebar total x tebal pasir
= 5,1 m x 5,1 m x 0,1 m = 2,601 m³
- d. Pemasangan 1 m³ Pondasi Batu Belah 1SP : 4PP
Volume pekerjaan = Panjang x lebar total x tebal
= 5,1 m x 5,1 m x 0,1 m
= 2,601 m³
- e. Pekerjaan Beton K-225
Beton Lantai Bangunan = Panjang x lebar x (tebal lantai kerja + tebal lantai bak). Dimana tebal lantai kerja (0,05 m) + tebal lantai bak (0,1 m) adalah 0,15 m.
Beton lantai bangunan = 4,8 m x 4,8 m x 0,15 m
= 3,456 m³
Beton Dinding Bangunan = (2 x (Panjang total + lebar total)) x tebal dinding x (kedalaman + freeboard)
Beton dinding bangunan = (2 x (5,1 + 5,1)) x 0,15 x 2,35
= 7,191 m³
- f. Pembesian dengan Besi Beton (Polos)
Volume pekerjaan ini mengacu pada perhitungan volume pekerjaan beton untuk dinding dan lantai bangunan. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan volume beton 10,647 m³.
Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat sebesar 150 kg/m³ beton sehingga didapatkan berat besi adalah :
Berat besi = Volume beton x berat besi
= 10,647 m³ x 150 kg/m³ = 1597,05 kg
- g. Bekisting Lantai = Panjang x lebar
= 4,8 m x 4,8 m = 23,04 m²
- h. Bekisting Dinding = (Panjang + lebar total) x tinggi
= (2 x (5,1 + 5,1)) x 2,35 = 23,97 m²
- i. Pemasangan Pipa Air Kotor berdiameter 90 mm
Pemasangan pipa air kotor diameter 90 mm dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu panjang pipa yang dibutuhkan untuk *holding tank* yaitu sepanjang 2,35 m.
- j. Pengadaan pompa submersible 2 buah (1 operasi dan 1 standby)
Maka untuk nilai satuan perhitungan RAB kegiatan untuk pembangunan unit *holding tank* dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5.26. RAB Holding Tank

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
1	Pembersihan 1 m2 Lahan dan Perataan								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.100	65000	6500	26.01	3	195000	365000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.05	85000	4250	26.01	2	170000	
2	Penggalian tanah untuk konstruksi (m3)								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	75.429	57	3705000	3875000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	75.429	2	170000	
3	Pengurugan pasir (padat) (m3)								
	Pasir urug	m3	1.2	200000	240000	2.601	-	624240	839240
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	2.601	2	130000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	2.601	1	85000	

Lanjutan tabel 5.26. RAB Holding Tank

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
4	Pemasangan 1 m3 pondasi batu belah campuran 1SP : 4PP								
	Batu Belah	m3	1.2	250000	300000	2.601	-	780300	2279465
	Semen Portland	kg	163	1100	179300	2.601	-	466359	
	Pasir Pasang	m3	0.52	320000	166400	2.601	-	432806	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.500	65000	97500	2.601	4	260000	
	tukang batu	OH	0.750	85000	63750	2.601	2	170000	
	kepala tukang batu	OH	0.075	85000	6375	2.601	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.075	85000	6375	2.601	1	85000	
5	Pekerjaan Pembuatan 1 m3 Beton Mutu fc = K-225								
	Pasir Beton	kg	698	271	189158	10.647	-	2013965	9963521
	Air	liter	215	50	10750	10.647	-	114455	
	Semen Portland	kg	371	1100	408100	10.647	-	4345041	

Lanjutan tabel 5.26. RAB Holding Tank

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	Kerikil	kg	1047	170	177990	10.647	-	1895060	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.650	65000	107250	10.647	18	1170000	
	tukang batu	OH	0.275	85000	23375	10.647	3	255000	
	kepala tukang batu	OH	0.028	85000	2380	10.647	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.083	85000	7055	10.647	1	85000	
6	Pembesian dengan Besi Beton (10 kg)								
	Besi Beton	kg	10.5	8000	84000	159.705	-	13415220	15805601
	Kawat Beton	kg	0.15	14000	2100	159.705	-	335381	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.070	65000	4550	159.705	12	780000	
	tukang besi	OH	0.070	85000	5950	159.705	12	1020000	
	kepala tukang besi	OH	0.007	85000	595	159.705	2	170000	

Lanjutan tabel 5.26. RAB Holding Tank

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.004	85000	340	159.705	1	85000	
7	Bekisting untuk Lantai tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls II	m3	0.015	3500000	52500	23.04	-	1209600	5718096
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	23.04	-	119808	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	23.04	-	27648	
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	23.04	-	1088640	
	Bambu dia 8-10/ 4m	batang	6	10000	60000	23.04	-	1382400	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	23.04	16	1040000	
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	23.04	8	680000	
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	23.04	1	85000	

Lanjutan tabel 5.26. RAB Holding Tank

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	23.04	1	85000	
8	Bekisting untuk Dinding tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls III	m3	0.02	3500000	70000	23.97	-	1677900	6052391
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	23.97	-	124644	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	23.97	-	28764	
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	23.97	-	1132583	
	Bambu dia 8-10/ 4m	batang	3	10000	30000	23.97	-	719100	
	Penjaga jarak / spacer (alat bantu)	buah	4	5000	20000	23.97	-	479400	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	23.97	16	1040000	
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	23.97	8	680000	

Lanjutan tabel 5.26. RAB Holding Tank

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	23.97	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	23.97	1	85000	
9	Pemasangan 1 m Pipa PVC Diameter 90 mm (3")								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.094	65000	6110	2.35	1	65000	235000
	tukang pipa	OH	0.047	85000	3995	2.35	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.009	85000	765	2.35	1	85000	
10	Pengadaan Pompa Submersible								
	Pompa submersible	buah	1	8800000	8800000	2	2	17600000	17600000
REKAPITULASI ANGGARAN BIAYA UNIT <i>HOLDING TANK</i>									62733314

5.10.2 Penyusunan Nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Bak Pembubuh Koagulan

- a. Pembersihan Lahan = Panjang total unit x lebar total
 $= 1,07 \text{ m} \times 1,07 \text{ m} = 1,145 \text{ m}^2$
- b. Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi
 Pada pekerjaan ini, tanah digali dengan bentuk tampak samping adalah segiempat. Namun direncanakan pembubuh alum hanya terbenam sebagian, hanya pondasi dan bagian lantai bak saja yang terbenam. Maka rumus = panjang total x lebar total x (tebal pasir + tebal batu kali + tebal lantai kerja)
 Tebal pasir = 0,1 m
 Tebal batu kali = 0,1 m
 Tebal lantai kerja = 0,05 m
 Tebal lantai bak = 0,1 m
 Maka dimensi penggalian tanah untuk konstruksi adalah :
 Bak Pembubuh = $1,07 \text{ m} \times 1,07 \text{ m} \times 0,35 \text{ m}$
 $= 0,401 \text{ m}^3$
- c. Pengurugan Pasir dengan Pemadatan
 Pengurugan = Panjang total x lebar total x tebal pasir
 $= 1,07 \text{ m} \times 1,07 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,114 \text{ m}^3$
- d. Pemasangan 1 m³ Pondasi Batu Belah 1SP : 4PP
 Volume pekerjaan = Panjang x lebar total x tebal
 $= 1,07 \text{ m} \times 1,07 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$
 $= 0,114 \text{ m}^3$
- e. Pekerjaan Beton K-225
 Beton Lantai Bangunan = Panjang x lebar x (tebal lantai kerja + tebal lantai bak). Dimana tebal lantai kerja (0,05 m) + tebal lantai bak (0,1 m) adalah 0,15 m.
 Beton lantai bangunan = $0,707 \times 0,707 \times 0,15$
 $= 0,075 \text{ m}^3$
 Beton Dinding Bangunan = (Panjang total + lebar total) x tebal dinding x (kedalaman + freeboard)
 Beton dinding bangunan = $(2 \times (1,07 + 1,07)) \times 0,15 \times 0,5$
 $= 0,321 \text{ m}^3$
- e. Pembesian dengan Besi Beton (Polos)
 Volume pekerjaan ini mengacu pada perhitungan volume pekerjaan beton untuk dinding dan lantai bangunan.

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan volume beton $0,396 \text{ m}^3$.

Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat sebesar 150 kg/m^3 beton sehingga didapatkan berat besi adalah :

$$\begin{aligned}\text{Berat besi} &= \text{Volume beton} \times \text{berat besi} \\ &= 0,396 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 = 59,4 \text{ kg}\end{aligned}$$

- f. Bekisting Lantai $= \text{Panjang} \times \text{lebar}$
 $= 0,707 \text{ m} \times 0,707 \text{ m} = 0,5 \text{ m}^2$
- g. Bekisting Dinding $= (\text{Panjang} + \text{lebar total}) \times \text{tinggi}$
 $= (2 \times (1,07+1,07)) \times 0,5 = 2,14 \text{ m}^2$
- h. Pengadaan pompa pembubuh / *dosing pump* 2 buah (1 operasi dan 1 standby)

Maka untuk nilai satuan perhitungan RAB kegiatan untuk pembangunan unit bak pembubuh alum dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5.27. RAB Bak Pembubuh Koagulan

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
1	Pembersihan 1 m2 Lahan dan Perataan								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.100	65000	6500	1.145	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.05	85000	4250	1.145	1	85000	
2	Penggalian tanah untuk konstruksi (m3)								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	0.401	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	0.401	1	85000	
3	Pengurugan pasir (padat) (m3)								
	Pasir urug	m3	1.2	200000	240000	0.114	-	27360	177360
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	0.114	1	65000	

Lanjutan tabel 5.27. RAB Bak Pembubuh Koagulan

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	0.114	1	85000	
4	Pemasangan 1 m3 pondasi batu belah campuran 1SP : 4PP								
	Batu Belah	m3	1.2	250000	300000	0.114	-	34200	393610
	Semen Portland	kg	163	1100	179300	0.114	-	20440	
	Pasir Pasang	m3	0.52	320000	166400	0.114	-	18970	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.500	65000	97500	0.114	1	65000	
	tukang batu	OH	0.750	85000	63750	0.114	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.075	85000	6375	0.114	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.075	85000	6375	0.114	1	85000	
5	Pekerjaan Pembuatan 1 m3 Beton Mutu fc = K-225								

Lanjutan tabel 5.27. RAB Bak Pembubuh Koagulan

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	Pasir Beton	kg	698	271	189158	0.396	-	74907	631256
	Air	liter	215	50	10750	0.396	-	4257	
	Semen Portland	kg	371	1100	408100	0.396	-	161608	
	Kerikil	kg	1047	170	177990	0.396	-	70484	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.650	65000	107250	0.396	1	65000	
	tukang batu	OH	0.275	85000	23375	0.396	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.028	85000	2380	0.396	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.083	85000	7055	0.396	1	85000	
6	Pembesian dengan Besi Beton (10 kg)								
	Besi Beton	kg	10.5	8000	84000	5.94	-	498960	831434

Lanjutan tabel 5.27. RAB Bak Pembubuh Koagulan

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	Kawat Beton	kg	0.15	14000	2100	5.94	-	12474	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.070	65000	4550	5.94	1	65000	
	tukang besi	OH	0.070	85000	5950	5.94	1	85000	
	kepala tukang besi	OH	0.007	85000	595	5.94	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.004	85000	340	5.94	1	85000	
7	Bekisting untuk Lantai tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls II	m3	0.015	3500000	52500	0.5	-	26250	403075
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	0.5	-	2600	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	0.5	-	600	

Lanjutan tabel 5.27. RAB Bak Pembubuh Koagulan

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	0.5	-	23625	
	Bambu dia 8-10/ 4m	batang	6	10000	60000	0.5	-	30000	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	0.5	1	65000	
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	0.5	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	0.5	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	0.5	1	85000	
8	Bekisting untuk Dinding tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls III	m3	0.02	3500000	70000	2.14	-	149800	756611

Lanjutan tabel 5.27. RAB Bak Pembubuh Koagulan

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	2.14	-	11128	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	2.14	-	2568	
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	2.14	-	101115	
	Bambu dia 8-10/4m	batang	3	10000	30000	2.14	-	64200	
	Penjaga jarak / spacer (alat bantu)	buah	4	5000	20000	2.14	-	42800	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	2.14	2	130000	
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	2.14	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	2.14	1	85000	

Lanjutan tabel 5.27. RAB Bak Pembubuh Koagulan

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	2.14	1	85000	
9	Pengadaan Dosing Pump								
	Pompa Dosing	buah	1	4250000	4250000	2	2	8500000	8500000
REKAPITULASI ANGGARAN BIAYA UNIT BAK PEMBUBUH KOAGULAN									11993346

5.10.3 Penyusunan Nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Bak Terjunan Koagulasi

a. Pembersihan Lahan = Panjang total unit x lebar total
 $= 1,3 \text{ m} \times 1,27 \text{ m} = 1,651 \text{ m}^2$

b. Penggalan Tanah Biasa untuk Konstruksi

Pada pekerjaan ini, tanah digali dengan bentuk tampak samping adalah segiempat. Namun direncanakan bak terjunan koagulasi berada di atas tanah, hanya pondasi saja yang terbenam. Maka rumus = panjang total x lebar total x (tebal pasir + tebal batu kali)

Tebal pasir = 0,1 m

Tebal batu kali = 0,1 m

Maka dimensi penggalan tanah untuk konstruksi adalah :

Bak Terjunan = $1,3 \text{ m} \times 1,27 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$

$= 0,33 \text{ m}^3$

c. Pengurugan Pasir dengan Pemadatan

Pengurugan = Panjang total x lebar total x tebal pasir

$= 1,3 \text{ m} \times 1,27 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,165 \text{ m}^3$

d. Pemasangan 1 m³ Pondasi Batu Belah 1SP : 4PP

Volume pekerjaan = Panjang x lebar total x tebal

$= 1,3 \text{ m} \times 1,27 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$

$= 0,165 \text{ m}^3$

e. Pekerjaan Beton K-225

Beton Lantai Bangunan = Panjang x lebar x (tebal lantai kerja + tebal lantai bak). Dimana tebal lantai kerja (0,05 m) + tebal lantai bak (0,95 m) adalah 1 m.

Beton lantai bangunan = $1 \times 0,97 \times 1$

$= 0,97 \text{ m}^3$

Dalam perhitungan beton dinding bangunan, terdapat perbedaan ketinggian antara dinding masuknya air limbah dengan dinding saat keluarnya air limbah, dikarenakan adanya terjunan.

Beton Dinding A Bangunan = (Panjang total + lebar total) x tebal dinding x (kedalaman + freeboard)

Beton dinding bangunan = $(1,3 + (2 \times 1,27)) \times 0,15 \times 0,5$

$= 0,288 \text{ m}^3$

Beton Dinding B Bangunan = (Lebar total) x tebal dinding x (kedalaman untuk terjunan)

$$\begin{aligned}\text{Beton dinding bangunan} &= 1,27 \times 0,15 \times 0,1 \\ &= 0,02 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- f. Pembesian dengan Besi Beton (Polos)
Volume pekerjaan ini mengacu pada perhitungan volume pekerjaan beton untuk dinding dan lantai bangunan. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan volume beton $1,278 \text{ m}^3$.

Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat sebesar 150 kg/m^3 beton sehingga didapatkan berat besi adalah :

$$\begin{aligned}\text{Berat besi} &= \text{Volume beton} \times \text{berat besi} \\ &= 1,278 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 = 191,7 \text{ kg}\end{aligned}$$

- g. Bekisting Lantai = Panjang x lebar
 $= 1 \text{ m} \times 0,97 \text{ m} = 0,97 \text{ m}^2$
- h. Bekisting Dinding A = (Panjang + lebar total) x tinggi
 $= (1,3 + (2 \times 1,27)) \times 0,5 = 1,92 \text{ m}^2$
- Bekisting Dinding B = (Panjang + lebar total) x tinggi
 $= 1,27 \times 0,1 = 0,127 \text{ m}^2$
- Bekisting Dinding = Bekisting Dinding A + B
 $= 1,92 + 0,127 = 2,047 \text{ m}^2$

- i. Pemasangan Pipa Air Kotor berdiameter 90 mm
Pemasangan pipa air kotor diameter 90 mm dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu panjang pipa yang dibutuhkan untuk bak terjunan koagulasi yaitu sepanjang 2,5 m.

Maka untuk nilai satuan perhitungan RAB kegiatan untuk pembangunan unit bak terjunan koagulasi dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5.28. RAB Bak Terjunan Koagulasi

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
1	Pembersihan 1 m2 Lahan dan Perataan								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.100	65000	6500	1.651	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.05	85000	4250	1.651	1	85000	
2	Penggalian tanah untuk konstruksi (m3)								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	0.33	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	0.33	1	85000	
3	Pengurugan pasir (padat) (m3)								
	Pasir urug	m3	1.2	200000	240000	0.165	-	39600	189600
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	0.165	1	65000	

Lanjutan tabel 5.28. RAB Bak Terjunan Koagulasi

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	0.165	1	85000	
4	Pemasangan 1 m3 pondasi batu belah campuran 1SP : 4PP								
	Batu Belah	m3	1.2	250000	300000	0.165	-	49500	426541
	Semen Portland	kg	163	1100	179300	0.165	-	29585	
	Pasir Pasang	m3	0.52	320000	166400	0.165	-	27456	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.500	65000	97500	0.165	1	65000	
	tukang batu	OH	0.750	85000	63750	0.165	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.075	85000	6375	0.165	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.075	85000	6375	0.165	1	85000	

Lanjutan tabel 5.28. RAB Bak Terjunan Koagulasi

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
5	Pekerjaan Pembuatan 1 m3 Beton Mutu fc = K-225								
	Pasir Beton	kg	698	271	189158	1.278	-	241744	1454506
	Air	liter	215	50	10750	1.278	-	13739	
	Semen Portland	kg	371	1100	408100	1.278	-	521552	
	Kerikil	kg	1047	170	177990	1.278	-	227471	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.650	65000	107250	1.278	3	195000	
	tukang batu	OH	0.275	85000	23375	1.278	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.028	85000	2380	1.278	1	85000	
mandor / tenaga pengawas	OH	0.083	85000	7055	1.278	1	85000		
6	Pembesian dengan Besi Beton (10 kg)								

Lanjutan tabel 5.28. RAB Bak Terjunan Koagulasi

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	Besi Beton	kg	10.5	8000	84000	19.17	-	1610280	2120537
	Kawat Beton	kg	0.15	14000	2100	19.17	-	40257	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.070	65000	4550	19.17	2	130000	
	tukang besi	OH	0.070	85000	5950	19.17	2	170000	
	kepala tukang besi	OH	0.007	85000	595	19.17	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.004	85000	340	19.17	1	85000	
7	Bekisting untuk Lantai tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls II	m3	0.015	3500000	52500	0.97	-	50925	481166
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	0.97	-	5044	

Lanjutan tabel 5.28. RAB Bak Terjunan Koagulasi

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	0.97	-	1164	
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	0.97	-	45833	
	Bambu dia 8-10/ 4m	batang	6	10000	60000	0.97	-	58200	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	0.97	1	65000	
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	0.97	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	0.97	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	0.97	1	85000	
8	Bekisting untuk Dinding tiap 1 m2								

Lanjutan tabel 5.28. RAB Bak Terjunan Koagulasi

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	Balok Kayu Kls III	m3	0.02	3500000	70000	2.047	-	143290	740461
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	2.047	-	10644	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	2.047	-	2456	
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	2.047	-	96721	
	Bambu dia 8-10/4m	batang	3	10000	30000	2.047	-	61410	
	Penjaga jarak / spacer (alat bantu)	buah	4	5000	20000	2.047	-	40940	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	2.047	2	130000	

Lanjutan tabel 5.28. RAB Bak Terjunan Koagulasi

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	2.047	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	2.047	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	2.047	1	85000	
9	Pemasangan 1 m Pipa PVC Diameter 90 mm (3")								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.094	65000	6110	2.5	1	65000	235000
	tukang pipa	OH	0.047	85000	3995	2.5	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.009	85000	765	2.5	1	85000	
REKAPITULASI ANGGARAN BIAYA UNIT BAK TERJUNAN KOAGULASI									5947811

5.10.4 Penyusunan Nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Bak Lintasan Koagulasi

- a. Pembersihan Lahan = Panjang total unit x lebar total
 $= 1,3 \text{ m} \times 1,3 \text{ m} = 1,69 \text{ m}^2$
- b. Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi
 Pada pekerjaan ini, tanah digali dengan bentuk tampak samping adalah segiempat. Namun direncanakan bak lintasan koagulasi berada di atas tanah, hanya pondasi saja yang terbenam. Maka rumus = panjang total x lebar total x (tebal pasir + tebal batu kali)
 Tebal pasir = 0,1 m
 Tebal batu kali = 0,1 m
 Maka dimensi penggalian tanah untuk konstruksi adalah :
 Bak Lintasan = $1,3 \text{ m} \times 1,3 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$
 $= 0,338 \text{ m}^3$
- c. Pengurugan Pasir dengan Pemadatan
 Pengurugan = Panjang total x lebar total x tebal pasir
 $= 1,3 \text{ m} \times 1,3 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,169 \text{ m}^3$
- d. Pemasangan 1 m³ Pondasi Batu Belah 1SP : 4PP
 Volume pekerjaan = Panjang x lebar total x tebal
 $= 1,3 \text{ m} \times 1,3 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$
 $= 0,169 \text{ m}^3$
- e. Pekerjaan Beton K-225
 Beton Lantai Bangunan = Panjang x lebar x (tebal lantai kerja + tebal lantai bak). Dimana tebal lantai kerja (0,05 m) + tebal lantai bak (0,45 m) adalah 0,5 m.
 Beton lantai bangunan = $1 \times 1 \times 0,5$
 $= 0,5 \text{ m}^3$
 Beton Dinding Bangunan = (Panjang total + lebar total) x tebal dinding x (kedalaman + freeboard)
 Beton dinding bangunan = $(2 \times (1,3 + 1,3)) \times 0,15 \times 0,5$
 $= 0,39 \text{ m}^3$
- f. Pembesian dengan Besi Beton (Polos)
 Volume pekerjaan ini mengacu pada perhitungan volume pekerjaan beton untuk dinding dan lantai bangunan. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan volume beton 0,89 m³.

Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat sebesar 150 kg/m³ beton sehingga didapatkan berat besi adalah :

$$\begin{aligned}\text{Berat besi} &= \text{Volume beton} \times \text{berat besi} \\ &= 0,89 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 = 133,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

- g. Bekisting Lantai = Panjang x lebar
= 1 m x 1 m = 1 m²
- h. Bekisting Dinding = (Panjang + lebar total) x tinggi
= (2 x (1,3 + 1,3) x 0,5 = 2,6 m²

Maka untuk nilai satuan perhitungan RAB kegiatan untuk pembangunan unit bak lintasan koagulasi dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5.29. RAB Bak Lintasan Koagulasi

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
1	Pembersihan 1 m2 Lahan dan Perataan								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.100	65000	6500	1.69	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.05	85000	4250	1.69	1	85000	
2	Penggalian tanah untuk konstruksi (m3)								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	0.338	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	0.338	1	85000	
3	Pengurugan pasir (padat) (m3)								
	Pasir urug	m3	1.2	200000	240000	0.169	-	40560	190560
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	0.169	1	65000	

Lanjutan tabel 5.29. RAB Bak Lintasan Koagulasi

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	0.169	1	85000	
4	Pemasangan 1 m3 pondasi batu belah campuran 1SP : 4PP								
	Batu Belah	m3	1.2	250000	300000	0.169	-	50700	429124
	Semen Portland	kg	163	1100	179300	0.169	-	30302	
	Pasir Pasang	m3	0.52	320000	166400	0.169	-	28122	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.500	65000	97500	0.169	1	65000	
	tukang batu	OH	0.750	85000	63750	0.169	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.075	85000	6375	0.169	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.075	85000	6375	0.169	1	85000	

Lanjutan tabel 5.29. RAB Bak Lintasan Koagulasi

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
5	Pekerjaan Pembuatan 1 m3 Beton Mutu fc = K-225								
	Pasir Beton	kg	698	271	189158	0.89	-	168351	1084539
	Air	liter	215	50	10750	0.89	-	9568	
	Semen Portland	kg	371	1100	408100	0.89	-	363209	
	Kerikil	kg	1047	170	177990	0.89	-	158411	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.650	65000	107250	0.89	2	130000	
	tukang batu	OH	0.275	85000	23375	0.89	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.028	85000	2380	0.89	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.083	85000	7055	0.89	1	85000	
6	Pembesian dengan Besi Beton (10 kg)								
	Besi Beton	kg	10.5	8000	84000	13.35	-	1121400	1469435

Lanjutan tabel 5.29. RAB Bak Lintasan Koagulasi

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	Kawat Beton	kg	0.15	14000	2100	13.35	-	28035	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.070	65000	4550	13.35	1	65000	
	tukang besi	OH	0.070	85000	5950	13.35	1	85000	
	kepala tukang besi	OH	0.007	85000	595	13.35	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.004	85000	340	13.35	1	85000	
7	Bekisting untuk Lantai tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls II	m3	0.015	3500000	52500	1	-	52500	486150
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	1	-	5200	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	1	-	1200	
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	1	-	47250	

Lanjutan tabel 5.29. RAB Bak Lintasan Koagulasi

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	Bambu dia 8-10/ 4m	batang	6	10000	60000	1	-	60000	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	1	1	65000	
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	1	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	1	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	1	1	85000	
8	Bekisting untuk Dinding tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls III	m3	0.02	3500000	70000	2.6	-	182000	836490
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	2.6	-	13520	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	2.6	-	3120	

Lanjutan tabel 5.29. RAB Bak Lintasan Koagulasi

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	2.6	-	122850	
	Bambu dia 8-10/ 4m	batang	3	10000	30000	2.6	-	78000	
	Penjaga jarak / spacer (alat bantu)	buah	4	5000	20000	2.6	-	52000	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	2.6	2	130000	
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	2.6	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	2.6	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	2.6	1	85000	
REKAPITULASI ANGGARAN BIAYA UNIT BAK LINTASAN KOAGULASI									4796298

5.10.5 Penyusunan Nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Bak Flokulasi

- a. Pembersihan Lahan = Panjang total unit x lebar total
= $4,3 \text{ m} \times 2,01 \text{ m} = 8,643 \text{ m}^2$
- b. Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi
Pada pekerjaan ini, tanah digali dengan bentuk tampak samping adalah segiempat. Namun direncanakan bak flokulasi berada di atas tanah, hanya pondasi saja yang terbenam. Maka rumus = panjang total x lebar total x (tebal pasir + tebal batu kali)
Tebal pasir = $0,1 \text{ m}$
Tebal batu kali = $0,1 \text{ m}$
Maka dimensi penggalian tanah untuk konstruksi adalah :
Bak Flokulasi = $4,3 \text{ m} \times 2,01 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$
= $1,729 \text{ m}^3$
- c. Pengurugan Pasir dengan Pemadatan
Pengurugan = Panjang total x lebar total x tebal pasir
= $4,3 \text{ m} \times 2,01 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,864 \text{ m}^3$
- d. Pemasangan 1 m^3 Pondasi Batu Belah 1SP : 4PP
Volume pekerjaan = Panjang x lebar total x tebal
= $4,3 \text{ m} \times 2,01 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$
= $0,864 \text{ m}^3$
- e. Pekerjaan Beton K-225
Beton Lantai Bangunan = Panjang x lebar x (tebal lantai kerja + tebal lantai bak). Dimana tebal lantai kerja ($0,05 \text{ m}$) + tebal lantai bak ($0,2 \text{ m}$) adalah $0,25 \text{ m}$.
Beton lantai bangunan = $4 \times 1,71 \times 0,25$
= $1,71 \text{ m}^3$
Beton Dinding Bangunan = (Panjang total + lebar total) x tebal dinding x (kedalaman + freeboard)
Beton dinding bangunan = $(2 \times (4,3 + 2,01)) \times 0,15 \times 0,8$
= $1,514 \text{ m}^3$
- f. Pembesian dengan Besi Beton (Polos)
Volume pekerjaan ini mengacu pada perhitungan volume pekerjaan beton untuk dinding dan lantai bangunan. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan volume beton $3,224 \text{ m}^3$.
Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat sebesar 150 kg/m^3 beton sehingga didapatkan berat besi adalah :

- Berat besi = Volume beton x berat besi
= $3,224 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 = 483,6 \text{ kg}$
- g. Bekisting Lantai = Panjang x lebar
= $4 \text{ m} \times 1,71 \text{ m} = 6,84 \text{ m}^2$
- h. Bekisting Dinding = (Panjang + lebar total) x tinggi
= $(2 \times (4,3+2,01)) \times 0,8 = 10,09 \text{ m}^2$
- i. Pemasangan Pipa Air Kotor berdiameter 150 mm
Pemasangan pipa air kotor diameter 150 mm dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu panjang pipa yang dibutuhkan untuk bak terjunan koagulasi yaitu sepanjang 4 m.
- j. Kebutuhan Pelat Besi Tebal 5 mm
Menggunakan pelat besi *stainless steel* dengan grade 304, dengan harga per lembar pelat besi polos tebal 5 mm, lebar 1,22 m panjang 2,44 m (luas per lembar $2,97 \text{ m}^2$) dan berat 117,39 kg yaitu Rp. 5.517.373.
- Kebutuhan besi total = $3 \times 0,85 \text{ m}^2 = 2,55 \text{ m}^2$
1 lembar plat besi = $2,97 \text{ m}^2$
Kebutuhan besi = 0,85 lembar
1 lembar plat besi = 117,39 kg
0,85 lembar = 100,789 kg
- Maka untuk nilai satuan perhitungan RAB kegiatan untuk pembangunan unit bak flokulasi dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5.30. RAB Bak Flokulasi

N o	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
1	Pembersihan 1 m2 Lahan dan Perataan								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.100	65000	6500	8.643	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.05	85000	4250	8.643	1	85000	
2	Penggalian tanah untuk konstruksi (m3)								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	1.729	2	130000	215000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	1.729	1	85000	
3	Pengurugan pasir (padat) (m3)								
	Pasir urug	m3	1.2	200000	240000	0.864	-	207360	357360

Lanjutan tabel 5.30. RAB Bak Flokulasi

N o	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	0.864	1	65000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	0.864	1	85000	
4	Pemasangan 1 m3 pondasi batu belah campuran 1SP : 4PP								
	Batu Belah	m3	1.2	250000	300000	0.864	-	259200	942885
	Semen Portland	kg	163	1100	179300	0.864	-	154915	
	Pasir Pasang	m3	0.52	320000	166400	0.864	-	143770	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.500	65000	97500	0.864	2	130000	
	tukang batu	OH	0.750	85000	63750	0.864	1	85000	

Lanjutan tabel 5.30. RAB Bak Flokulasi

N o	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	kepala tukang batu	OH	0.075	85000	6375	0.864	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.075	85000	6375	0.864	1	85000	
5	Pekerjaan Pembuatan 1 m3 Beton Mutu fc = K-225								
	Pasir Beton	kg	698	271	189158	3.224	-	609845	3179057
	Air	liter	215	50	10750	3.224	-	34658	
	Semen Portland	kg	371	1100	408100	3.224	-	1315714	
	Kerikil	kg	1047	170	177990	3.224	-	573840	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.650	65000	107250	3.224	6	390000	
	tukang batu	OH	0.275	85000	23375	3.224	1	85000	

Lanjutan tabel 5.30. RAB Bak Flokulasi

N o	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	kepala tukang batu	OH	0.028	85000	2380	3.224	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.083	85000	7055	3.224	1	85000	
6	Pembesian dengan Besi Beton (10 kg)								
	Besi Beton	kg	10.5	8000	84000	48.36	-	4062240	4933796
	Kawat Beton	kg	0.15	14000	2100	48.36	-	101556	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.070	65000	4550	48.36	4	260000	
	tukang besi	OH	0.070	85000	5950	48.36	4	340000	
	kepala tukang besi	OH	0.007	85000	595	48.36	1	85000	

Lanjutan tabel 5.30. RAB Bak Flokulasi

N o	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	mandor / tenaga pengawa s	OH	0.004	85000	340	48.36	1	85000	
7	Bekisting untuk Lantai tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls II	m3	0.015	350000 0	52500	6.84	-	359100	1886466
	Paku Biasa 2"- 5"	kg	0.4	13000	5200	6.84	-	35568	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	6.84	-	8208	
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	6.84	-	323190	
	Bambu dia 8-10/ 4m	batang	6	10000	60000	6.84	-	410400	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	6.84	5	325000	

N o	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	6.84	3	255000	
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	6.84	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	6.84	1	85000	
8	Bekisting untuk Dinding tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls III	m3	0.02	3500000	70000	10.09	-	706300	2717129
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	10.09	-	52468	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	10.09	-	12108	
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	10.09	-	476753	

N o	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	Bambu dia 8-10/ 4m	batang	3	10000	30000	10.09	-	302700	
	Penjaga jarak / spacer (alat bantu)	buah	4	5000	20000	10.09	-	201800	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	10.09	7	455000	
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	10.09	4	340000	
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	10.09	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	10.09	1	85000	
9	Pemasangan 1 m Pipa PVC Diameter 150 mm								

N o	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah	Biaya	Biaya Total
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.118	65000	7670	4	1	65000	235000
	tukang pipa	OH	0.058	85000	4930	4	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.012	85000	1020	4	1	85000	
10	Kebutuhan Pelat Besi								
	plat besi stainless steel grade 304	lembar	1	5517373	5517373	0.85	-	4689767	4739758
	perakitan besi	kg	117.39	501	58812.39	0.85	-	49991	
REKAPITULASI ANGGARAN BIAYA UNIT BAK FLOKULASI									19356451

5.10.6 Penyusunan Nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Bak Sedimentasi 2

- a. Pembersihan Lahan = Panjang total unit x lebar total
= 11,3 m x 5,05 m = 57,065 m²
- b. Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi
Pada pekerjaan ini, tanah digali dengan bentuk tampak samping adalah segiempat. Namun direncanakan zona pengendap berada di atas tanah, hanya bagian zona lumpur saja yang terbenam. Maka rumus = panjang total x lebar total x (kedalaman zona lumpur + tebal lantai kerja + tebal lantai bak + tebal pasir + tebal batu kali)
Tinggi zona lumpur = 0,3 m
Tebal lantai kerja = 0,05 m
Tebal lantai bak = 0,1 m
Tebal pasir = 0,1 m
Tebal batu kali = 0,1 m
Maka dimensi penggalian tanah untuk konstruksi adalah :
Bak Sedimentasi 2 = 11,3 m x 5,05 m x 0,65 m
= 37,092 m³
- c. Pengurugan Pasir dengan Pemadatan
Pengurugan = Panjang total x lebar total x tebal pasir
= 11,3 m x 5,05 m x 0,1 m = 5,707 m³
- d. Pemasangan 1 m³ Pondasi Batu Belah 1SP : 4PP
Volume pekerjaan = Panjang x lebar total x tebal
= 11,3 m x 5,05 m x 0,1 m
= 5,707 m³
- e. Pekerjaan Beton K-225
Pada perhitungan kebutuhan beton, selain kebutuhan beton untuk dinding dan lantai bangunan sedimentasi 2, terdapat pula kebutuhan beton untuk *perforated baffle* yang terdapat pada zona inlet.
Beton Lantai Bangunan = Panjang x lebar x (tebal lantai kerja + tebal lantai bak). Dimana tebal lantai kerja (0,05 m) + tebal lantai bak (0,1 m) adalah 0,15 m.
Beton lantai bangunan = 11 x 4,75 x 0,15
= 7,838 m³
Beton Dinding Pengendap (A) = (Panjang total + lebar total) x tebal dinding x (kedalaman + freeboard)

$$\begin{aligned}\text{Beton dinding bangunan} &= (2 \times (11,3 + 5,05)) \times 0,15 \\ &\quad \times 0,8 \\ &= 1,514 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Beton Dinding Z. Lumpur (B)} = (\text{Panjang total} + \text{lebar total}) \times \text{tebal dinding} \times \text{kedalaman}$$

$$\begin{aligned}\text{Beton dinding bangunan} &= (2 \times (5 + 1,3)) \times 0,15 \times 0,3 \\ &= 0,567 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beton perforated baffle} &= \text{Luas perforated baffle} \times \\ &\quad \text{ketebalan} \\ &= 2,375 \times 0,1 = 0,238 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- f. Pembesian dengan Besi Beton (Polos)
Volume pekerjaan ini mengacu pada perhitungan volume pekerjaan beton untuk *perforated baffle*, dinding, dan lantai bangunan. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan volume beton 10,157 m³.

Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat sebesar 150 kg/m³ beton sehingga didapatkan berat besi adalah :

$$\begin{aligned}\text{Berat besi} &= \text{Volume beton} \times \text{berat besi} \\ &= 10,157 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 = 1523,55 \text{ kg}\end{aligned}$$

g. Bekisting Lantai = Panjang x lebar
= 11 m x 4,75 m = 52,25 m²

h. Bekisting Dinding A = (Panjang + lebar total) x tinggi
= (2x (11,3+5,05)) x 0,8 = 26,16 m²

Bekisting Dinding B = (Panjang + lebar total) x tinggi
= (2x (5+1,3)) x 0,3 = 3,78 m²

Bekisting Baffle = Panjang baffle x tinggi
= 4,75 x 0,5 = 2,375 m²

- i. Pemasangan Pipa Air Kotor berdiameter 150 mm
Pemasangan pipa air kotor diameter 150 mm dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu panjang pipa yang dibutuhkan untuk bak sedimentasi 2 yaitu sepanjang 2 m.

- j. Pengadaan pompa *non-clogging* untuk lumpur
Jenis pompa yang digunakan adalah pompa centrifugal non-clogging 6P (960 rpm) ukuran 50 – 160 dari produsen pompa CNP.

Maka untuk nilai satuan perhitungan RAB kegiatan untuk pembangunan unit sedimentasi 2 dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5.31. RAB Sedimentasi 2

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
1	Pembersihan 1 m2 Lahan dan Perataan								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.100	65000	6500	57.065	6	390000	645000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.05	85000	4250	57.065	3	255000	
2	Penggalian tanah untuk konstruksi (m3)								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	37.092	28	1820000	1905000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	37.092	1	85000	
3	Pengurugan pasir (padat) (m3)								
	Pasir urug	m3	1.2	200000	240000	5.707	-	1369680	1779680
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	5.707	5	325000	

Lanjutan tabel 5.31. RAB Sedimentasi 2

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	5.707	1	85000	
4	Pemasangan 1 m3 pondasi batu belah campuran 1SP : 4PP								
	Batu Belah	m3	1.2	250000	300000	5.707	-	1712100	4865010
	Semen Portland	kg	163	1100	179300	5.707	-	1023265	
	Pasir Pasang	m3	0.52	320000	166400	5.707	-	949645	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.500	65000	97500	5.707	9	585000	
	tukang batu	OH	0.750	85000	63750	5.707	5	425000	
	kepala tukang batu	OH	0.075	85000	6375	5.707	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.075	85000	6375	5.707	1	85000	

Lanjutan tabel 5.31. RAB Sedimentasi 2

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
5	Pekerjaan Pembuatan 1 m3 Beton Mutu fc = K-225								
	Pasir Beton	kg	698	271	189158	10.157	-	1921278	9513382
	Air	liter	215	50	10750	10.157	-	109188	
	Semen Portland	kg	371	1100	408100	10.157	-	4145072	
	Kerikil	kg	1047	170	177990	10.157	-	1807844	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.650	65000	107250	10.157	17	1105000	
	tukang batu	OH	0.275	85000	23375	10.157	3	255000	
	kepala tukang batu	OH	0.028	85000	2380	10.157	1	85000	
mandor / tenaga pengawas	OH	0.083	85000	7055	10.157	1	85000		
6	Pembesian dengan Besi Beton (10 kg)								
	Besi Beton	kg	10.5	8000	84000	152.355	-	12797820	15022766

Lanjutan tabel 5.31. RAB Sedimentasi 2

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	Kawat Beton	kg	0.15	14000	2100	152.355	-	319946	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.070	65000	4550	152.355	11	715000	
	tukang besi	OH	0.070	85000	5950	152.355	11	935000	
	kepala tukang besi	OH	0.007	85000	595	152.355	2	170000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.004	85000	340	152.355	1	85000	
7	Bekisting untuk Lantai tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls II	m3	0.015	3500000	52500	52.25	-	2743125	12826338
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	52.25	-	271700	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	52.25	-	62700	

Lanjutan tabel 5.31. RAB Sedimentasi 2

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	52.25	-	2468813	
	Bambu dia 8-10/ 4m	batang	6	10000	60000	52.25	-	3135000	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	52.25	35	2275000	
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	52.25	18	1530000	
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	52.25	2	170000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	52.25	2	170000	
8	Bekisting untuk Dinding tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls III	m3	0.02	3500000	70000	32.315	-	2262050	8316500

Lanjutan tabel 5.31. RAB Sedimentasi 2

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	32.315	-	168038	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	32.315	-	38778	
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	32.315	-	1526884	
	Bambu dia 8-10/4m	batang	3	10000	30000	32.315	-	969450	
	Penjaga jarak / spacer (alat bantu)	buah	4	5000	20000	32.315	-	646300	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	32.315	22	1430000	
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	32.315	11	935000	

Lanjutan tabel 5.31. RAB Sedimentasi 2

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	32.315	2	170000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	32.315	2	170000	
9	Pemasangan 1 m Pipa PVC Diameter 150 mm								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.118	65000	7670	2	1	65000	235000
	tukang pipa	OH	0.058	85000	4930	2	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.012	85000	1020	2	1	85000	
10	Pengadaan Pompa Non-clogging Centrifugal								
	Pompa centrifugal non clogging	buah	1	1350000	1350000	1	1	1350000	1350000
REKAPITULASI ANGGARAN BIAYA UNIT SEDIMENTASI 2									56458676

5.10.7 Penyusunan Nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) *Wetland*

a. Pembersihan Lahan = Panjang total unit x lebar total
 $= 14,3 \text{ m} \times 8,3 \text{ m} = 118,69 \text{ m}^2$

b. Penggalan Tanah Biasa untuk Konstruksi
 Pada pekerjaan ini, tanah digali dengan bentuk tampak samping adalah segiempat. Namun direncanakan *wetland* berada di atas tanah, hanya separuh bagian saja yang terbenam. Maka rumus = panjang total x lebar total x (1/2 x kedalaman *wetland* + tebal lantai kerja + tebal lantai bak + tebal pasir + tebal batu kali)

$$\frac{1}{2} \text{ ketinggian } \textit{wetland} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Tebal lantai kerja} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Tebal lantai bak} = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Tebal pasir} = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Tebal batu kali} = 0,1 \text{ m}$$

Maka dimensi penggalan tanah untuk konstruksi adalah :

$$\textit{Wetland} = 14,3 \text{ m} \times 8,3 \text{ m} \times 1,35 \text{ m}$$

$$= 160,232 \text{ m}^3$$

c. Pengurugan Pasir dengan Pemadatan

$$\text{Pengurugan} = \text{Panjang total} \times \text{lebar total} \times \text{tebal pasir}$$

$$= 14,3 \text{ m} \times 8,3 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 11,869 \text{ m}^3$$

d. Pemasangan 1 m³ Pondasi Batu Belah 1SP : 4PP

$$\text{Volume pekerjaan} = \text{Panjang} \times \text{lebar total} \times \text{tebal}$$

$$= 14,3 \text{ m} \times 8,3 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$$

$$= 11,869 \text{ m}^3$$

e. Pekerjaan Beton K-225

Pada perhitungan kebutuhan beton untuk *wetland*, selain kebutuhan beton untuk dinding dan lantai, terdapat pula kebutuhan beton untuk *perforated baffle* yang terdapat pada zona inlet.

Beton Lantai Bangunan = Panjang x lebar x (tebal lantai kerja + tebal lantai bak). Dimana tebal lantai kerja (0,05 m) + tebal lantai bak (0,1 m) adalah 0,15 m.

$$\text{Beton lantai bangunan} = 14 \times 8 \times 0,15$$

$$= 16,8 \text{ m}^3$$

Beton Dinding *Wetland* = (Panjang total + lebar total) x tebal dinding x (kedalaman + freeboard)

$$\text{Beton dinding bangunan} = \frac{(2 \times (14,3 + 8,3)) \times 0,15 \times 2}{2}$$

- = 13,56 m³
- Beton *perforated baffle* = Luas *perforated baffle* x ketebalan
= 12 x 0,1 = 1,2 m³
- f. Pembesian dengan Besi Beton (Polos)
Volume pekerjaan ini mengacu pada perhitungan volume pekerjaan beton untuk *perforated baffle*, dinding, dan lantai bangunan. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan volume beton 31,56 m³. Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat sebesar 150 kg/m³ beton sehingga didapatkan berat besi adalah :
Berat besi = Volume beton x berat besi
= 31,56 m³ x 150 kg/m³ = 4734 kg
- g. Bekisting Lantai = Panjang x lebar
= 14 m x 8 m = 112 m²
- h. Bekisting Dinding = (Panjang + lebar total) x tinggi
= (2 x (14,3+8,3) x 2 = 90,4 m²
Bekisting Baffle = Panjang baffle x tinggi
= 8 x 1,5 = 12 m²
- i. Pemasangan Pipa Air Kotor berdiameter 90 mm
Pemasangan pipa air kotor diameter 90 mm dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu panjang pipa yang dibutuhkan untuk bak sedimentasi 2 yaitu sepanjang 1 m.
- j. Media kerikil dan tanaman *Typha latifolia* untuk CW
Volume kerikil yang dibutuhkan untuk media *constructed wetland* adalah :
Volume kerikil = L x w x h
= 12 x 8 x 1,7 = 163,2 m³
Sedangkan jumlah kebutuhan tanaman *Typha latifolia* sebanyak 576 tanaman.
Maka untuk nilai satuan perhitungan RAB kegiatan untuk pembangunan unit *wetland* dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5.32. RAB Unit *Wetland*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
1	Pembersihan 1 m2 Lahan dan Perataan								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.100	65000	6500	118.69	12	780000	1290000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.05	85000	4250	118.69	6	510000	
2	Penggalian tanah untuk konstruksi (m3)								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	160.232	121	7865000	8290000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	160.232	5	425000	
3	Pengurugan pasir (padat) (m3)								
	Pasir urug	m3	1.2	200000	240000	11.869	-	2848560	3518560
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	11.869	9	585000	

Lanjutan Tabel 5.32. RAB Unit *Wetland*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	11.869	1	85000	
4	Pemasangan 1 m3 pondasi batu belah campuran 1SP : 4PP								
	Batu Belah	m3	1.2	250000	300000	11.869	-	3560700	9768814
	Semen Portland	kg	163	1100	179300	11.869	-	2128112	
	Pasir Pasang	m3	0.52	320000	166400	11.869	-	1975002	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.500	65000	97500	11.869	18	1170000	
	tukang batu	OH	0.750	85000	63750	11.869	9	765000	
	kepala tukang batu	OH	0.075	85000	6375	11.869	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.075	85000	6375	11.869	1	85000	
5	Pekerjaan Pembuatan 1 m3 Beton Mutu fc = K-225								

Lanjutan Tabel 5.32. RAB Unit *Wetland*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	Pasir Beton	kg	698	271	189158	31.56	-	5969826	29356096
	Air	liter	215	50	10750	31.56	-	339270	
	Semen Portland	kg	371	1100	408100	31.56	-	12879636	
	Kerikil	kg	1047	170	177990	31.56	-	5617364	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.650	65000	107250	31.56	53	3445000	
	tukang batu	OH	0.275	85000	23375	31.56	9	765000	
	kepala tukang batu	OH	0.028	85000	2380	31.56	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.083	85000	7055	31.56	3	255000	
6	Pembesian dengan Besi Beton (10 kg)								
	Besi Beton	kg	10.5	8000	84000	473.4	-	39765600	46369740
	Kawat Beton	kg	0.15	14000	2100	473.4	-	994140	

Lanjutan Tabel 5.32. RAB Unit *Wetland*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.070	65000	4550	473.4	34	2210000	
	tukang besi	OH	0.070	85000	5950	473.4	34	2890000	
	kepala tukang besi	OH	0.007	85000	595	473.4	4	340000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.004	85000	340	473.4	2	170000	
7	Bekisting untuk Lantai tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls II	m3	0.015	3500000	52500	112	-	5880000	27243800
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	112	-	582400	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	112	-	134400	
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	112	-	5292000	

Lanjutan Tabel 5.32. RAB Unit *Wetland*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	Bambu dia 8-10/4m	batang	6	10000	60000	112	-	6720000	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	112	74	4810000	
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	112	37	3145000	
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	112	4	340000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	112	4	340000	
8	Bekisting untuk Dinding tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls III	m3	0.02	3500000	70000	102.4	-	7168000	25771760
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	102.4	-	532480	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	102.4	-	122880	

Lanjutan Tabel 5.32. RAB Unit *Wetland*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	102.4	-	4838400	
	Bambu dia 8-10/ 4m	batang	3	10000	30000	102.4	-	3072000	
	Penjaga jarak / spacer (alat bantu)	buah	4	5000	20000	102.4	-	2048000	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	102.4	68	4420000	
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	102.4	34	2890000	
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	102.4	4	340000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	102.4	4	340000	
9	Pemasangan 1 m Pipa PVC Diameter 90 mm (3")								

Lanjutan Tabel 5.32. RAB Unit *Wetland*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.094	65000	6110	1	1	65000	235000
	tukang pipa	OH	0.047	85000	3995	1	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.009	85000	765	1	1	85000	
10	Media kerikil dan tanaman <i>Typha latifolia</i> untuk CW								38600000
	Kerikil	m3	1.000	130000	130000	163.2	164	21320000	
	<i>Typha latifolia</i>	buah	1.000	30000	30000	576	576	17280000	
REKAPITULASI ANGGARAN BIAYA UNIT WETLAND									190443770

5.10.8 Penyusunan Nilai *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) *Sludge Drying Bed*

- a. Pembersihan Lahan = Panjang total unit x lebar total
= 2,24 m x 1,27 m = 2,845 m²
- b. Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi
Pada pekerjaan ini, tanah digali dengan bentuk tampak samping adalah segiempat. Direncanakan SDB berada di atas tanah. Maka rumus = panjang total x lebar total x (tebal lantai kerja + tebal lantai bak + tebal pasir + tebal batu kali)
 Tebal lantai kerja = 0,05 m
 Tebal lantai bak = 0,1 m
 Tebal pasir = 0,1 m
 Tebal batu kali = 0,1 m
 Maka dimensi penggalian tanah untuk konstruksi adalah :
 SDB = 2,24 m x 1,27 m x 0,35 m
 = 0,996 m³
- c. Pengurugan Pasir dengan Pemadatan
Pengurugan = Panjang total x lebar total x tebal pasir
= 2,24 m x 1,27 m x 0,1 m = 0,285 m³
- d. Pemasangan 1 m³ Pondasi Batu Belah 1SP : 4PP
Volume pekerjaan = Panjang x lebar total x tebal
= 2,24 m x 1,27 m x 0,1 m
= 0,285 m³
- e. Pekerjaan Beton K-225
Pada perhitungan kebutuhan beton untuk dinding dan lantai SDB.
 Beton Lantai Bangunan = Panjang x lebar x (tebal lantai kerja + tebal lantai bak). Dimana tebal lantai kerja (0,05 m) + tebal lantai bak (0,1 m) adalah 0,15 m.
 Beton lantai bangunan = 1,94 x 0,97 x 0,15
 = 0,282 m³
 Beton Dinding SDB = (Panjang total + lebar total) x tebal dinding x (kedalaman + freeboard)
 Beton dinding bangunan = (2 x (2,24 + 1,27)) x 0,15 x 1,1
 = 1,158 m³
- f. Pembesian dengan Besi Beton (Polos)
Volume pekerjaan ini mengacu pada perhitungan volume pekerjaan beton untuk dinding dan lantai bangunan.

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan volume beton $1,44 \text{ m}^3$.

Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat sebesar 150 kg/m^3 beton sehingga didapatkan berat besi adalah :

$$\begin{aligned}\text{Berat besi} &= \text{Volume beton} \times \text{berat besi} \\ &= 1,44 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 = 216 \text{ kg}\end{aligned}$$

- g. Bekisting Lantai $= \text{Panjang} \times \text{lebar}$
 $= 1,94 \text{ m} \times 0,97 \text{ m} = 1,882 \text{ m}^2$
- h. Bekisting Dinding $= (\text{Panjang} + \text{lebar total}) \times \text{tinggi}$
 $= (2 \times (2,24 + 1,27)) \times 1,1 = 7,72 \text{ m}^2$

- i. Pemasangan Pipa Air Kotor berdiameter 110 mm
Pemasangan pipa air kotor diameter 110 mm dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu panjang pipa yang dibutuhkan untuk SDB yaitu sepanjang 1 m.

- j. Kebutuhan media yang digunakan
Media yang dibutuhkan untuk bangunan SDB adalah pasir dan kerikil. Volume kerikil dan pasir yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned}\text{Volume kerikil} &= L \times w \times h \\ &= 1,94 \times 0,97 \times 0,25 = 0,47 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume pasir} &= L \times w \times h \\ &= 1,94 \times 0,97 \times 0,25 = 0,47 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Berat pasir} = 0,47 \text{ m}^3 \times 1400 \text{ kg/m}^3 = 658 \text{ kg}$$

Maka untuk nilai satuan perhitungan RAB kegiatan untuk pembangunan unit *sludge drying bed* dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5.33. RAB *Sludge Drying Bed*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
1	Pembersihan 1 m2 Lahan dan Perataan								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.100	65000	6500	2.845	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.05	85000	4250	2.845	1	85000	
2	Penggalian tanah untuk konstruksi (m3)								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	0.996	1	65000	150000
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	0.996	1	85000	
3	Pengurugan pasir (padat) (m3)								
	Pasir urug	m3	1.2	200000	240000	0.285	-	68400	218400
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.750	65000	48750	0.285	1	65000	

Lanjutan tabel 5.33. RAB *Sludge Drying Bed*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.025	85000	2125	0.285	1	85000	
4	Pemasangan 1 m3 pondasi batu belah campuran 1SP : 4PP								
	Batu Belah	m3	1.2	250000	300000	0.285	-	85500	504025
	Semen Portland	kg	163	1100	179300	0.285	-	51101	
	Pasir Pasang	m3	0.52	320000	166400	0.285	-	47424	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.500	65000	97500	0.285	1	65000	
	tukang batu	OH	0.750	85000	63750	0.285	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.075	85000	6375	0.285	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.075	85000	6375	0.285	1	85000	
5	Pekerjaan Pembuatan 1 m3 Beton Mutu fc = K-225								

Lanjutan tabel 5.33. RAB *Sludge Drying Bed*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	Pasir Beton	kg	698	271	189158	1.44	-	272388	1581838
	Air	liter	215	50	10750	1.44	-	15480	
	Semen Portland	kg	371	1100	408100	1.44	-	587664	
	Kerikil	kg	1047	170	177990	1.44	-	256306	
	kuli / tenaga lapangan	OH	1.650	65000	107250	1.44	3	195000	
	tukang batu	OH	0.275	85000	23375	1.44	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.028	85000	2380	1.44	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.083	85000	7055	1.44	1	85000	
6	Pembesian dengan Besi Beton (10 kg)								
	Besi Beton	kg	10.5	8000	84000	21.6	-	1814400	2329760
	Kawat Beton	kg	0.15	14000	2100	21.6	-	45360	

Lanjutan tabel 5.33. RAB *Sludge Drying Bed*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.070	65000	4550	21.6	2	130000	
	tukang besi	OH	0.070	85000	5950	21.6	2	170000	
	kepala tukang besi	OH	0.007	85000	595	21.6	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.004	85000	340	21.6	1	85000	
7	Bekisting untuk Lantai tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls II	m3	0.015	3500000	52500	1.882	-	98805	697694
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	1.882	-	9786	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	1.882	-	2258	
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	1.882	-	88925	
	Bambu dia 8-10/ 4m	batang	6	10000	60000	1.882	-	112920	

Lanjutan tabel 5.33. RAB *Sludge Drying Bed*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	1.882	2	130000	
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	1.882	1	85000	
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	1.882	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	1.882	1	85000	
8	Bekisting untuk Dinding tiap 1 m2								
	Balok Kayu Kls III	m3	0.02	3500000	70000	7.72	-	540400	2155578
	Paku Biasa 2"-5"	kg	0.4	13000	5200	7.72	-	40144	
	Minyak Bekisting	liter	0.2	6000	1200	7.72	-	9264	
	Plywood 9 mm	Lembar	0.35	135000	47250	7.72	-	364770	

Lanjutan tabel 5.33. RAB *Sludge Drying Bed*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	Bambu dia 8-10/ 4m	batang	3	10000	30000	7.72	-	231600	
	Penjaga jarak / spacer (alat bantu)	buah	4	5000	20000	7.72	-	154400	
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.660	65000	42900	7.72	6	390000	
	tukang kayu	OH	0.330	85000	28050	7.72	3	255000	
	kepala tukang batu	OH	0.033	85000	2805	7.72	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.033	85000	2805	7.72	1	85000	
9	Pemasangan 1 m Pipa PVC Diameter 110 mm								
	kuli / tenaga lapangan	OH	0.105	65000	6825	1	1	65000	243800

Lanjutan tabel 5.33. RAB *Sludge Drying Bed*

No	Bidang	Satuan Koefisien	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Harga	Dimensi	Jumlah Pekerja	Biaya	Biaya Total
	tukang pipa	OH	0.053	85000	4505	1	1	85000	
	mandor / tenaga pengawas	OH	0.011	85000	935	1	1	85000	
	Pipa PVC 110 mm	buah	1	93800	93800	1	1	93800	
10	Media kerikil dan pasir untuk SDB								
	Kerikil	m3	1.000	130000	130000	0.47	1	130000	1030000
	Pasir silika	zak	1.000	150000	150000	5.3	6	900000	
REKAPITULASI ANGGARAN BIAYA UNIT <i>SLUDGE DRYING BED</i>									9061095

Berdasarkan perhitungan RAB seluruh unit yang tertera pada tabel 5.25 hingga 5.33, total dari biaya yang dibutuhkan untuk membangun IPAL adalah sebesar Rp. 360.790.761,00. Diketahui pula berdasarkan perhitungan untuk tipikal bangunan *manhole* dan bak kontrol pada tabel 5.24 dan 5.25, maka dihitung jumlah biaya total kebutuhan *manhole* dan bak kontrol sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{RAB Manhole} &= \text{Jumlah} \times \text{Biaya Tipikal 1 Manhole} \\ &= 4 \times \text{Rp. 2.594.989} = \text{Rp. 10.379.956,00} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RAB B. Kontrol} &= \text{Jumlah} \times \text{Biaya Tipikal 1 Bak Kontrol} \\ &= 5 \times \text{Rp. 955.398,00} = \text{Rp. 4.776.990,00} \end{aligned}$$

Maka rekapitulasi biaya total untuk pembangunan IPAL komunal limbah batik IKM di daerah Pasirsari Kota Pekalongan ini adalah sebagai berikut.

Tabel 5.34. Rekapitulasi Anggaran Biaya IPAL Komunal

Jenis Kegiatan	RAB
Pembangunan SPAL	Rp67.071.655,00
Pembangunan Manhole	Rp10.379.956,00
Pembangunan Bak Kontrol	Rp.4.776.990,00
Pembangunan IPAL	Rp360.790.761,00
RAB TOTAL IPAL KOMUNAL	Rp443.019.362,00

Selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap biaya operasi IPAL, hal tersebut diperlukan untuk menentukan apakah alternatif yang terpilih bernilai ekonomis dari segi operasional.

Biaya operasional adalah biaya yang dikeluarkan oleh pengelola IPAL untuk mendukung operasi saat berlangsungnya proses pengolahan. Biaya operasional berasal dari biaya penggunaan listrik, kebutuhan aluminium sulfat, dan kebutuhan operator. Tarif listrik sendiri diketahui berdasarkan pemberitahuan oleh kementerian ESDM bahwa tidak mengalami perubahan atau kenaikan mulai 1 januari 2018, maka tarif yang diterapkan sama dengan periode lalu, dan terlampir pada lampiran E. Perhitungan konsumsi listrik sendiri dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.35. Perhitungan Konsumsi Listrik per Hari

Bangunan	Peralatan	Jumlah	Daya (kW)	Periode beroperasi per hari (jam)	Jumlah kWh/hari
Holding Tank	Pompa air limbah	2	3	8	48
Bak Pembubuh Koagulan	Dosing Pump	2	0.029	8	0.464
Bak Sedimentasi 2	Pompa penguras lumpur	2	1.5	0.083	0.249
Total Jumlah kWh/hari					48.713

Total pemakaian biaya listrik selama 1 bulan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Harga listrik/kWh} &= \text{Rp. } 1467,28 \\
 \text{Total biaya per hari} &= \text{Total kWh/hari} \times \text{Harga listrik} \\
 &= 48,713 \times \text{Rp. } 1467,28 \\
 &= \text{Rp. } 71.475,61/\text{hari} \\
 \text{Total biaya per bulan} &= \text{Biaya per hari} \times 30 \text{ hari} \\
 &= \text{Rp. } 71.475,61 \times 30 \\
 &= \text{Rp. } 2.144.268,32/\text{bulan}
 \end{aligned}$$

Perhitungan biaya lainnya yaitu kebutuhan aluminium sulfat per bulan. Diketahui bahwa harga aluminium sulfat per kg adalah sebesar Rp. 8000,00. Dosis optimum berdasar percobaan laboratorium adalah 300 mg/L dengan kebutuhan tawas per hari sebesar 27,177 kg/hari. Maka biaya yang dibutuhkan untuk pembubuhan koagulan tiap harinya adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan tawas} &= 27,177 \text{ kg/hari} \times 8000 \\
 &= \text{Rp. } 217.416,00 / \text{hari} \\
 \text{Kebutuhan per bulan} &= \text{Kebutuhan per hari} \times 30 \text{ hari} \\
 &= \text{Rp. } 217.416,00 \times 30 \\
 &= \text{Rp. } 6.522.480,00
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan biaya untuk kebutuhan operator, direncanakan terdapat 6 orang operator dengan gaji per bulan sesuai UMR Kota Pekalongan tahun 2018 yaitu sebesar Rp. 1.765.178,00 per bulan. Maka jumlah biaya dikeluarkan adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya operator} &= \text{Jumlah} \times \text{Gaji} \\
 &= 6 \times \text{Rp. } 1.765.178,00 \\
 &= \text{Rp. } 10.591.068,00/\text{bulan}
 \end{aligned}$$

BAB 6

KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

1. Karakteristik air limbah diambil dengan cara *grab sampling* lalu dikompositkan sesuai jumlah debit per hari masing-masing IKM. Hasil uji laboratorium sampel untuk limbah awal yaitu pH 9,43; BOD 224 mg/L; COD 430 mg/L; TSS 97 mg/L; Fenol 1,44 mg/L; Logam Pb 0,165 mg/L; Cu 0,018 mg/L; Zn 0,085 mg/L; sedangkan logam Cd dan Cr berada dibawah minimum pengamatan (MDL). Setelah dilakukan uji pengendapan I dan jar tes, diketahui bahwa unit sedimentasi 1 tidak diperlukan dalam perencanaan ini, dan unit koagulasi-flokulasi diterapkan dalam perencanaan ini karena efektif dalam menurunkan parameter pencemar yang disebutkan di atas serta efektif dalam penurunan warna secara kasat mata.
2. Berdasarkan perhitungan DED diperoleh dimensi untuk SPAL yaitu diameter pipa yang digunakan adalah Ø 110 mm dan 140 mm, sedangkan dimensi bangunan IPAL antara lain : *holding tank* sebesar (4,8 m x 4,8 m x 1,5 m); bak terjunan pengaduk cepat (0,97 m x 1 m x 0,5 m); bak lintasan pengaduk cepat (1 m x 1 m x 0,5 m); bak pembubuh koagulan (0,707 m x 0,707 m x 0,5 m); bak pengaduk lambat (4 m x 1,71 m x 0,8 m); sedimentasi 2 (11 m x 4,75 m x 0,82 m); *wetland* (12 m x 8 m x 2 m); dan *sludge drying bed* (1,94 m x 0,97 m x 1,1 m).
3. Biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan IPAL komunal limbah batik IKM Pasirsari adalah Rp. 443.019.362,00. Sedangkan biaya operasional yang harus dikeluarkan setiap bulannya adalah Rp. 19.257.816,32.

6.2. Saran

1. Dilakukan analisis skala laboratorium untuk proses biologis (*wetland*) yang digunakan.
2. Perencanaan sebaiknya memperhitungkan nutrisi yang ada pada air limbah sebelum masuk ke *wetland*,

agar diketahui apakah membutuhkan penambahan nutrisi atau tidak.

3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik lumpur yang dihasilkan, agar diketahui apakah memerlukan pengolahan lanjutan atau tidak.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Kdasi, A., Idris, A., Saed, K. dan Guan, C.T. 2004. Treatment of Textile wastewater by Advanced Oxidation Processes. **Global Nest the International Journal** 6(1), hal. 222-230.
- Asmadi, dan Suharno. 2012. **Dasar-dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah**. Yogyakarta : Penerbit Gosyen.
- Birgani, dkk. 2016. "An Efficient and Economical Treatment For Batik Textile Wastewater Containing High Levels Of Silicate And Organic Pollutants Using A Sequential Process Of Acidification, Magnesium Oxide, And Palm Shellbased Activated Carbon Application". **Journal of Environmental Management**. Malaysia : Elsevier.
- Chow, Ven Te. 1959. **Open-Channel Hydraulics**. New York : Mc Graw Hill.
- Crites, R. dan George T. 1998. **Small and Decentralized Waste Management Systems**. Singapore: Mc.Graw-Hill, Inc.
- Framika, Koosdaryani, dan Muttaqien. 2014. "Penyaringan Horizontal Sebagai Pelengkap Bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah Batik". **Jurnal Matriks Teknik Sipil Vol. 2 No. 2**. Surakarta : UNS.
- Hammer, M.J. 1986. **Water and Wastewater Technology**. New Jersey: Prentice-Hall Int. Inc.
- Hartini, dkk. 2015. "Pemilihan Desain Instalasi Pengelolaan Air Limbah Batik Yang Efektif Dan Efisien Dengan Menggunakan Metode *Life Cycle Cost* (Studi Kasus Di Kampung Batik Semarang)". **Jurnal Teknik Industri Undip Vol. X No. 1**. Semarang : UNDIP.
- Kayombo S, dkk. 2006. **Waste Stabilization Ponds and Constructed Wetlands Design Manual**. Copenhagen : UNEP – IETC.
- Khambali. 2011. **Teknologi Bioenergi**. Bogor : PT Agromedia Pustaka.
- Kindsigo, dan Juha. 2006. "Degradation of lignins by wet oxidation : model water solutions". **Procedia Chemical Sciences of Estonian Academy** 55, pg. 132-144. Estonia.
- Kurniawan, Purwanto, dan Sudarno. 2013. "Kajian Pengelolaan Air Limbah Sentra Industri Kecil Dan Menengah Batik Dalam

- Perspektif *Good Governance* di Kabupaten Sukoharjo". **Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan**. Semarang : UNDIP.
- Lee, dkk. 2015. "Primary Treatment Of Dye Wastewater Using *Aloe Vera*-Aided Aluminium and Magnesium Hybrid Coagulants". **Procedia Environmental Sciences** **30**, pg. **56-61**. Malaysia : Elsevier.
- Metcalf dan Eddy. 1991. **Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse**. New York: McGraw Hill Comp.
- Metcalf dan Eddy. 2003. **Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery**, 5th ed. New York: McGraw Hill.
- Muga, H. E. dan Mihelcic, J. R. 2008. "Sustainability of Wastewater Treatment Technologies-Original Research Article". **Journal of Environmental Management**, 88, 33: 437-447.
- Muljadi, dan Asriyanto. 2011. "Unjuk Kerja Dan Efisiensi IPAL Industri Batik Cetak Di Makamhaji, Sukoharjo Dengan Proses Bar Screen, Sedimentasi, Dan Proses Koagulasi-Flokulasi Terhadap Penurunan Parameter BOD, COD, Dan Logam Berat (Cr)". **Ekulibrium Vol. 10, No. 1, Hal. 1-4**. Surakarta : UNS.
- Murniati, dan Muljadi. 2013. "Pengolahan Limbah Batik Cetak Dengan Menggunakan Metode Filtrasi-Elektrolisis Untuk Menentukan Efisiensi Penurunan Parameter COD, BOD, Dan Logam Berat (Cr) Setelah Perlakuan Fisika-Kimia". **Ekulibrium Vol. 12, No. 1, Hal. 27-36**. Surakarta : UNS.
- Murniati, Inayati, dan Budiastuti. 2015. "Pengelolaan Limbah Cair Industri Batik Dengan Metode Elektrolisis Sebagai Upaya Penurunan Tingkat Konsentrasi Logam Berat Di Sungai Jenes, Laweyan, Surakarta". **Jurnal Ekosains Vol. VII No. 1**. Surakarta : UNS.
- Novotny, V. dan Olem, H. 1994. **Water Quality, Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution**. New York: Van Nostrans Reinhold.
- Polprasert, C., dkk. 1998. "Design Model for COD Removal in Constructed Wetland Based on Biofilm Activity". **Journal of Environmental Engineering**. 124 (9) pp, 838 – 843.

- Priadie. 2017. "Potensi IPAL Skala Individu Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Di Pekalongan". **Jurnal Dinamika Penelitian Industri Vol. 26 No.1**. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Air Kemen PU Pera.
- Purwaningsih, I. 2008. **Pengolahan Limbah Cair Industri Batik CV Batik Indah Raradjonggrang Yogyakarta Dengan Metode Elektrokoagulasi Ditinjau Dari Parameter Chemical Oxygen Demand (COD) Dan Warna**. Tugas Akhir Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan. Yogyakarta : UII.
- Qasim, S. R. 1985. **Wastewater Treatment Plants Planning, Design, and Operations**. USA: International Thompson Publishing.
- Rashed. 2013. **Adsorption Technique for the Removal of Organic Pollutants from Water and Wastewater**. Organic Pollutants – Monitoring, Risk, and Treatment.
- Rashidi, dkk. 2015. **Simulated Textile (Batik) Wastewater Pre-Treatment Through Application Of A Baffle Separation Tank**. Desalination and Water Treatment, 57:1, 151-160. Malaysia : Balaban Desalination Publications. Egypt : Intech.
- Risnawati, I., dan Damanhuri, T. P. 2009. **Penyisihan Logam pada Lindi Menggunakan *Constructed Wetland***. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Sastrawijaya, A. T. 2009. **Pencemaran Lingkungan**. Jakarta: Rineka Cipta.
- Suheryanto, D. 2012. **Eksplorasi Pembuatan dan Proses Pencelupan Batik dengan Zat Pewarna Alam**. Yogyakarta : Balai Besar dan Kerajinan Batik.
- Suheryanto, D. 2015. Penggunaan Natrium Silikat pada Proses Pelorodan Batik Terhadap Pelepasan Lilin dan Kekuatan Tarik Kain. **Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam Indonesia ISSN 1693-4393**. Yogyakarta : UPN Veteran.
- Suprihatin, H. 2014. **Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo Dan Alternatif Pengolahannya**. Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

- Lingkungan. Surabaya : Institut Teknologi Pembangunan.
- Susanto, S.S.K. 1980. **Seni Kerajinan batik Indonesia, Balai Penelitian dan Pengembangan Industri Kerajinan dan Batik**. Yogyakarta: Departemen Perindustrian.
- Tangahu, B.V., dan Warmadewanthi, I.D.A.A. 2001. "Pengelolaan Limbah Rumah Tangga dengan Memanfaatkan Tanaman Cattail (*Typha angustifolia*) dalam Sistem Constructed Wetland. **Jurnal Purifikasi** Vol. 3, 127–132.
- Vymazal, J. 2010. "Constructed Wetland for Wastewater Treatment". **Journal of Water** Vol. 2, 530 – 549.
- Watini. 2009. **Pengaruh Waktu Kontak Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) terhadap Penurunan Kadar Cd dan Cr Pada Air Limbah Industri Batik (Home Industry Batik Di Desa Sokaraja Lor)**. Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Ilmu Kesehatan. Purwokerto : UNSOED.
- Yulianto, A., Hakim, L., Purwaningsih, I., dan Pravitasari, V. A. 2009. **Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Pada Skala Laboratorium dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi**. Jurnal Teknik Vol 5 (1).
- Yusak, A., dan Adi, K. 2011. **Keeksotisan Batik Jawa Timur**. Jakarta : Elex Media Komputindo.

LAMPIRAN A

KUISIONER LAPANGAN

LAMPIRAN A

Kuisisioner Survey Lapangan

Pertanyaan :

1. Berapa banyak produksi batik yang dihasilkan tiap hari atau minggunya?
2. Apakah dalam proses produksi batik, air yang digunakan berasal dari air layanan PDAM?
3. Jika tidak menggunakan layanan PDAM, sumber air apakah yang digunakan? Berapakah jumlah air yang dibuang tiap hari produksi? (Meminta izin untuk melihat bak penampung air dan kapasitas pompa digunakan)
4. Pukul berapa operasional produksi batik serta pembuangan air dilakukan?
5. Apakah diizinkan jika melakukan penelitian dan *sampling* limbah batik?

LAMPIRAN B

PROSEDUR ANALISIS KUALITAS AIR

Prosedur Analisis Laboratorium

1. Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

a. Alat dan Bahan:

- Larutan buffer fosfat
- Larutan Magnesium Sulfat
- Larutan Kalium Klorida
- Larutan Feri Klorida
- Bubuk inhibitor nitrifikasi
- Benih inoculum, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 gram diencerkan dengan 100 mL air
- Larutan Mangan Sulfat
- Larutan pereaksi oksigen
- Indikator amilum 0,5%
- Asam sulfat pekat
- Larutan standart natrium tiosulfat 0,0125 N
- Aerator untuk mengaerasi air pengencer
- Drum atau ember untuk air pengencer
- 1 buah labu ukur berukuran 500 mL
- Botol winkler 300 mL dan botol winkler 150 mL sebanyak 2 buah
- Inkubator suhu 20°C
- Pipet 10 mL dan 5 mL
- Gelas ukur 100 mL 1 buah
- Buret 25 mL atau 50 mL
- Erlenmeyer 200 mL 1 buah

b. Prosedur Analisis:

Pembuatan Larutan Pengencer

Air pengencer tergantung banyak sampel yang akan dianalisis dan pengencerannya, prosedur adalah sebagai berikut:

- Tambahkan 1 mL larutan buffer fosfat per liter
- Tambahkan 1 mL larutan Magnesium Sulfat per liter
- Tambahkan 1 mL larutan Kalium Klorida per liter

- Tambahkan 1 mL larutan Feri Klorida per liter
- Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor
- Aerasi minimal 2 jam
- Tambahkan 1 mL larutan benih per liter air

Prodsedur BOD

Menentukan Pengenceran

Untuk menganalisis BOD harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka $KmnO_4$ sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{Angka } KMnO_4}{4 \text{ atau } 5}$$

Prosedur BOD dengan winkler

- Siapkan 1 buah labu ukur 500 mL dan taungkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu
- Siapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 1 buah botol winkler 300 mL dan 150 mL
- Tuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah
- Tuangkan air pengencer ke botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blankp sampai tumpah
- Masukkan kedua botol winkler 300 mL ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari
- Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Tambahkan 1 mL larutan Mangan Sulfat
 - Tambahkan 1 mL larutan pereaksi oksigen
 - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udaranya lalu balik-balikkan beberapa kali
 - Biarkan gumpalan mengendap 5-10 menit
 - Tambahkan 1 mL Asam Sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan

- Tuangkan 100 mL larutan ke dalam erlenmeyer 250 mL
- Titrasikan dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N sampai warna menjadi coklat muda
- Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasikan dengan Natrium tiosulfat hingga warna biru hilang
- Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol Winkler 300 mL dengan analisis oksigen terlarut.
- Hitung BOD dengan rumus berikut:

$$BOD_5^{20} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{mL \text{ sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Keterangan:

- X_0 : DO sampel pada $t = 0$
- X_5 : DO sampel pada $t = 5$
- B_0 : DO blanko pada $t = 0$
- B_5 : DO blanko pada $t = 5$
- P : derajat pengenceran

2. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

a. Alat dan Bahan:

- Larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N
- Kristal perak sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan asam sulfat (H_2SO_4)
- Kristal merkuri sulfat (Hg_2SO_4)
- Larutan standar Ferro Amonium Sulfat (FAS) 0,05 N
- Larutan indikator Fenantrolin Ferro Sulfat (Feroind)
- Erlenmeyer 250 mL 2 buah
- Buret 25 mL atau 50 mL 1 buah
- Alat refluks dan pemanasnya
- Pipet 5 mL, 10 mL
- Pipet tetes 1 buah

- *Beaker glass* 50 mL, 1 buah
- Gelas ukur 25 mL, 1 buah

b. Prosedur Analisis:

- Masukkan 0,4 gram kristal Hg_2SO_4 ke dalam masing-masing erlenmeyer.
- Tuangkan 20 mL air sampel dan 20 mL air akuades (sebagai blangko) ke dalam masing-masing erlenmeyer.
- Tambahkan 10 mL larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ N.
- Tambahkan 25 mL larutan campuran Ag_2SO_4 .
- Alirkan pendingin pada kondesor dan pasang erlenmeyer COD.
- Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.
- Biarkan erlenmeyer dingin dan tambahkan air akuades melalui kondensor sampai volume 150 mL.
- Lepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu sampai dingin.
- Tambahkan 3-4 tetes indikator Feroin.
- Titrasikan kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standar FAS 0,05 N hingga warna menjadi merah/coklat.
- Hitung COD sampel dengan rumus:

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{Vol sampel}} \times p$$

Keterangan:

A: mL FAS titrasi blanko

B: mL FAS titrasi sampel

N: normalitas larutan FAS

P: pengenceran

3. Analisis TSS (*Total Suspended Solids*)

a. Alat dan Bahan:

- Larutan sampel yang akan dianalisis
- Furnace dengan suhu 550°C

- Oven dengan suhu 105°C
- Cawan porselin 50 ml
- Timbangan analitis
- Desikator
- Cawan petri
- Kertas saring
- *Vacuum filter*

b. Prosedur Analisis:

- Cawan porselin dibakar dengan suhu 550°C selama 1 jam, setelah itu dimasukkan ke dalam oven 105°C selama 15 jam.
- Masukkan kertas saring ke oven 105°C selama 1 jam
- Cawan dan kertas saring diatas didinginkan dalam desikator selama 15 menit
- Timbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis (e mg)
- Letakkan kertas saring yang telah ditimbang pada *vacuum filter*
- Tuangkan 25 ml sampel diatas *filter* yang telah dipasang pada *vacuum filter*, volume sampel yang digunakan ini tergantung dari kepekataannya, catat volume sampel (g ml)
- Saring sampel sampai kering atau airnya habis
- Letakkan kertas saring pada cawan petri dan masukkan ke dalam oven 105°C selama 1 jam
- Dinginkan didalam desikator selama 15 menit
- Timbang dengan timbangan analitis (f mg)
- Hitung jumlah TSS dengan rumus berikut:

$$\text{TSS (mg/L)} = ((f - e) / g) \times 1000 \times 1000$$

4. Analisis pH

a. Alat dan Bahan:

- Aquades
- *Beaker glass*
- *pH-meter*
- Sampel

b. Prosedur Analisis:

- Aquades dimasukkan ke dalam *beaker glass*. Lalu Alat pengukur dalam pH-meter dicelupkan dalam beaker glass
- Dicatat pH yang muncul
- Sampel air dituang pada *beaker glass* secukupnya, lalu alat pH dicelupkan di dalamnya

5. Analisis Fenol

a. Alat dan Bahan:

- Natrium Sulfat Anhidrat (Na_2SO_4)
- Air suling dengan DHL 0,5 – 2 mhos/cm
- Kristal Kalium Iodida (KI)
- Asam Klorida (HCl) pekat 12 N
- Natrium Klorida (NaCl)
- Kristal fenol $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ murni
- Kloroform, CHCl_3
- Kalium Dikromat, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,025 N
- Serbuk Di-Kalium Hidrogen Fosfat, K_2HPO_4
- Serbuk Kalium Dihidrogen Fosfat, KH_2PO_4
- Larutan Kalium Ferisianida, $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$
- Larutan Bromat-Bromida 0,1 N :
Timbang 2,784 g KBrO_3 anhidrat, tambahkan 10 g kristal kalium bromida, KBr kemudian larutkan dengan air suling sampai 100 mL
- Indikator Metil Jingga 5%
- Asam Fosfat, H_3PO_4 1: 9 :
Pipet 10 mL H_3PO_4 85%, kemudian tambahkan 90 mL air suling dalam labu ukur 100 mL
- Natrium Thiosulfat, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,025 N
- Larutan Indikator Kanji 0,05%
- Larutan Natrium Hidroksida, NaOH 2,5 N
- Larutan Ammonium Hidroksida, NH_4OH 0,5 N
- Larutan Asam Sulfat, H_2SO_4 1 N
- Larutan Asam Sulfat, H_2SO_4 4 N
- Larutan Penyangga Fosfat

- Larutkan 104,5 g K_2HPO_4 dan 72,3 g KH_2PO_4 dalam 1000 mL air suling, pH harus 6,8
- Larutan 4 – aminoantipirin
Larutkan 2,0 g kristal 4 aminoantipirin dalam 100 mL air suling, siapkan setiap akan melakukan analisis
 - Larutan Kalium Ferisianida, $K_4Fe(CN)_6$
Larutkan 8,0 g kristal kalium ferisianida dalam 100 mL air suling, larutan ini mempunyai waktu simpan selama 1 minggu
 - Spektrofotometer uv/vis
 - Destilator yang dilengkapi dengan labu didih 1000 mL
 - Penangas air yang dilengkapi dengan pengatur suhu
 - Buret 50 mL
 - Corong pemisah 500 mL
 - Labu ukur 100 mL dan 1000 mL
 - Gelas ukur 100 mL
 - Pipet ukur 5 mL dan 10 mL
 - Pipet volumetrik 1 mL; 2 mL; 5 mL dan 10 mL
 - Gelas piala 500 mL dan 1000 mL

b. Prosedur Analisis:

Lakukan cara uji fenol dengan tahapan sebagai berikut:

a) Pengujian kadar fenol dalam air dan air limbah antara 0,005 mg/L sampai dengan 0,1 mg/L dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Ukur 500 mL contoh uji secara duplo dan masukkan ke dalam gelas piala 1000 mL.
- 2) Tambahkan 12 mL larutan NH_4OH 0,5 N dan atur pH menjadi $7,9 \pm 0,1$ dengan penambahan larutan penyangga fosfat.
- 3) Pindahkan larutan ke dalam corong pemisah tambahkan 3 mL larutan aminoantipirin sambil diaduk.

- 4) Tambahkan 3 mL larutan kalium ferisianida sambil diaduk, diamkan selama 3 menit sampai timbul warna kuning jernih.
- 5) Ekstraksi dengan 25,0 mL kloroform dan kocok corong pemisah paling sedikit 10 kali, diamkan sampai lapisan kloroform terpisah.
- 6) Keluarkan lapisan kloroform melalui kertas saring yang telah dilapisi dengan 5 g natrium sulfat anhidrat.
- 7) Masukkan ke dalam cuvet pada alat spektrofotometer, baca dan catat absorbansinya pada panjang gelombang 460 nm.

b) Pengujian kadar fenol dalam air dan air limbah antara 0,200 mg/L sampai dengan 5,000 mg/L dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Ukur 100 mL contoh uji secara duplo dan masukkan ke dalam gelas piala 250 mL.
- 2) Tambahkan 2,5 mL larutan NH_4OH 0,5 N dan atur pH menjadi $7,9 \pm 0,1$ dengan penambahan larutan penyangga fosfat.
- 3) Tambahkan 1 mL larutan aminoantipirin sambil diaduk.
- 4) Tambahkan 1 mL larutan kalium ferisianida sambil diaduk, diamkan selama 15 menit.
- 5) Masukkan ke dalam cuvet pada alat spektrofotometer, baca dan catat absorbansi pada panjang gelombang 500 nm.

Hitung kadar fenol dalam contoh uji dengan menggunakan kurva kalibrasi atau persamaan garis regresinya dan perhatikan hal-hal berikut:

- a) Selisih kadar maksimum yang diperbolehkan antara dua pengukuran duplo adalah 12%.
- b) Apabila hasil perhitungan kadar fenol lebih besar atau sama dengan 0,1 mg/L dan lebih kecil atau sama dengan 0,2 mg/L. Ulangi pengujian dengan pengenceran contoh uji.

LAMPIRAN C
HASIL UJI KUALITAS AIR LIMBAH



**LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387**

DATA ANALISA AIR LIMBAH

Dikirim Oleh : Sdri. Velda
Dikirim Tanggal : 23 Pebruari 2018
Sampel Dari : Air Limbah Batik Awal

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah *)	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	C O D	mg/L O ₂	150	430,00	Refluks
2	B O D	mg/L O ₂	60	224,00	Winkler

Sampel Dari : Air Limbah Batik Dosis 300 mg/L Tawas

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah *)	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	C O D	mg/L O ₂	150	82,00	Refluks
2	B O D	mg/L O ₂	60	43,00	Winkler

Sampel Dari : Air Limbah Batik Dosis 650 mg/L Tawas

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah *)	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	C O D	mg/L O ₂	150	66,00	Refluks
2	B O D	mg/L O ₂	60	35,00	Winkler

Surabaya, 02 Maret 2018
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS

Catatan :
*)KEPUB JATIM No. : 72/2013,
Tanggal : 16 Oktober 2013 : Untuk Industri
Tekstil
- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air
yang diterima laboratorium kami

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc
NIP. 195501281985032001

Hasil Uji Kadar Logam Limbah Batik Awal

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Velda Rifka Almira
Alamat Pemilik : Teknik Lingkungan ITS
Nama Contoh : Limbah batik
Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas
Contoh Volume : -
Kemasan : Botol
Kode Contoh : EI-113
Tanggal Terima : 15Feb 2018
Tanggal Pengujian : 19 Feb 2018
Tanggal Selesai Pengujian : 22 Feb 2018
Jumlah Contoh : 5

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Air Limbah Batik	Kandungan Timbal (Pb)	0,165	ppm	SNI 06.6989.54:2005
		Kandungan Kadmium (Cd)	<MDL		SNI 6989.16:2009
		Kandungan Kromium (Cr)	<MDL		SNI 6989.17:2009
		Kandungan Tembaga (Cu)	0,018		SNI 6989.6:2009
		Kandungan Seng (Zn)	0,085		SNI 6989.7:2009

Suhu : 20,3°C
Humidity : 60%
Analisis : EWY

Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku dari sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya diperbanyak secara utuh.

Manajer Puncak
Laboratorium Energi dan Lingkungan

Manajer Teknis

Dr. Ir. Susianto, DEA
NIP. 19620820 198903 1 004

Vita Yuliana, S.Si
NIP. 914014001

Hasil Uji Kadar Logam Limbah Batik Setelah Koagulasi 300 mg/L

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Velda Rifka Almira
Alamat Pemilik : Teknik Lingkungan ITS
Nama Contoh : Limbah Batik
Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas
Contoh Volume : -
Kemasan : Botol
Kode Contoh : EI-138
Tanggal Terima : 01 Mar 2018
Tanggal Pengujian : 02 Mar 2018
Tanggal Selesai :
Pengujian : 06 Mar 2018
Jumlah Contoh : 03

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Air Limbah Batik setelah koagulasi Aluminium Sulfat 300mg	Kandungan Timbal (Pb)	<MDL	ppm	SNI 06.6989.54:2005
		Kandungan Kadmium (Cd)	<MDL		SNI 6989.16:2009
		Kandungan Tembaga (Cu)	<MDL		SNI 6989.6:2009

Suhu : 20,9°C
Humidity : 59%
Analisis : EWY

Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku dari sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya diperbanyak secara utuh.

Manajer Puncak
Laboratorium Energi dan Lingkungan

Manajer Teknis

Dr. Ir. Susianto, DEA
NIP. 19620820 198903 1 004

Vita Yuliana, S.Si
NIP. 914014001

Hasil Uji Kadar Logam Limbah Batik



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS ILMU ALAM
DEPARTEMEN KIMIA**

Kampus ITS Sukohilo - Surabaya 60111
Telp : 031-5943353, Fax : 031-5928314, PABX : 1207-1208
E-mail : kimia@its.ac.id, <http://www.chem.its.ac.id>

Kepada Yth :
Velda Rifka Atmira
T. Lingkungan ITS

LAPORAN ANALISIS Subyek : Limbah Batik	No	:174/IT2.VI.1.4/PM.05.02/2018
	Tanggal	:27 Februari 2018
	Metode	: ---
	Diteliti Oleh	:Fataty K
Tanggal diterima sampel : 21 Februari 2018		

No	Parameter Uji	Hasil Analisa (setelah koagulasi 300 mg)	Hasil Analisa (setelah koagulasi 650 mg)	Metode
1	Cu	Tidak terdeteksi	Tidak terdeteksi	AAS
2	Pb	Tidak terdeteksi	Tidak terdeteksi	
3	Cr	Tidak terdeteksi	Tidak terdeteksi	
4	Cd	0,354 ppm	0,355 ppm	
5	Zn	0,764 ppm	0,596 ppm	

Catatan :

1. Hasil analisis ini mengacu pada sampel yang diterima laboratorium Kimia ITS dan tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum
2. Pengambilan sampel tidak dilakukan oleh Laboratorium Kimia ITS



Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc

Hasil Uji Kadar Fenol



Pusat Studi Lingkungan
Universitas Surabaya

LAPORAN ANALISA

797/PSL/HA – II/2018

Klien : Sdri. Velda Rifka Almira
Jumlah Sampel : 3 Sampel
Jenis Sampel : Limbah batik
Parameter Analisa : Phenol
Tanggal/Waktu Penerimaan Sampel : 28 Februari 2018/16.00 WIB
Dikerjakan di : Laboratorium Teknologi Bioproses dan Proses
Lingkungan (TBPL)
Keterangan Analisa : Sampling oleh klien

Nama Sampel	Hasil Analisa: Phenol	Metode Analisa
Awal	1,4391 mg/L	Colorimetri (Spektro)
300 mg/L	0,83686 mg/L	
650 mg/L	0,024345 mg/L	
Ambient Temperature (Suhu Ruang): 26°C		



Mengetahui
Kepala PSL UBAYA,

Tutani Lidiawati S., ST., MT.

Surabaya, 7 Maret 2018

Ketua Lab. TBPL – Teknik Kimia

Yunus Fransiscus, M.Sc

Jl. Raya Kalirungkut (Tenggilis) – Surabaya 60293
Telp. 62 31 2981155, 2981156 Fax.: 62 31 2981387
E-mail: psl@unit.ubaya.ac.id

LAMPIRAN D
Detailed Engineering Design IPAL
Komunal Air Limbah Batik



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah
(IPAL) Komunal Air Limbah Batik dari Industri
Kecil Menengah (IKM) di Kota Pekalongan

JUDUL GAMBAR

Denah Jaringan SPAL

LEGENDA

- | | |
|----------------|-------------|
| : IKM Batik | : Jalan |
| : Rumah Warga | : Rawa-rawa |
| : Lahan Kosong | : Pipa SPAL |
| : Makam | |

NAMA MAHASISWA

VELDA RIFKA ALMIRA
03211440000033

DOSEN PEMBIMBING

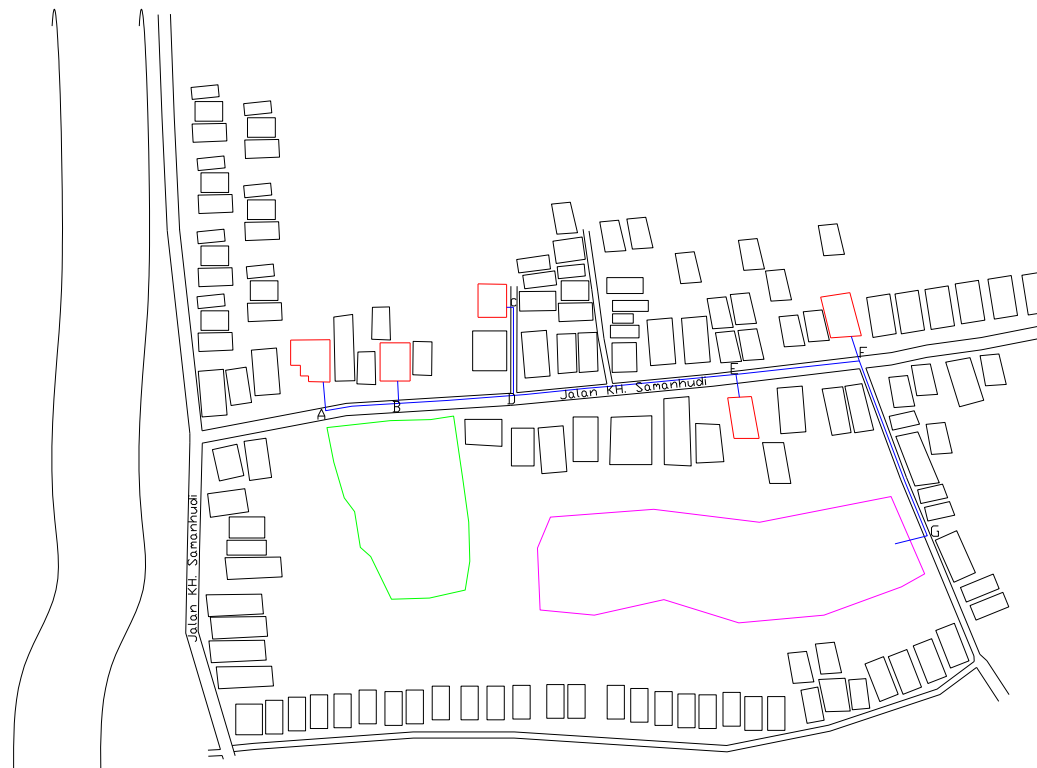
Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl.SE., M.Sc.
19590811 198701 1 001

SKALA GAMBAR

1 : 1000

NOMOR GAMBAR

1





Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018




JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah
(IPAL) Komunal Air Limbah Batik dari Industri
Kecil Menengah (IKM) di Kota Pekalongan

JUDUL GAMBAR

Potongan Memanjang Jalur A - IPAL

LEGENDA

-  : Manhole
-  : Pipa Primer
-  : Pipa Sekunder

NAMA MAHASISWA

VELDA RIFKA ALMIRA
03211440000033

DOSEN PEMBIMBING

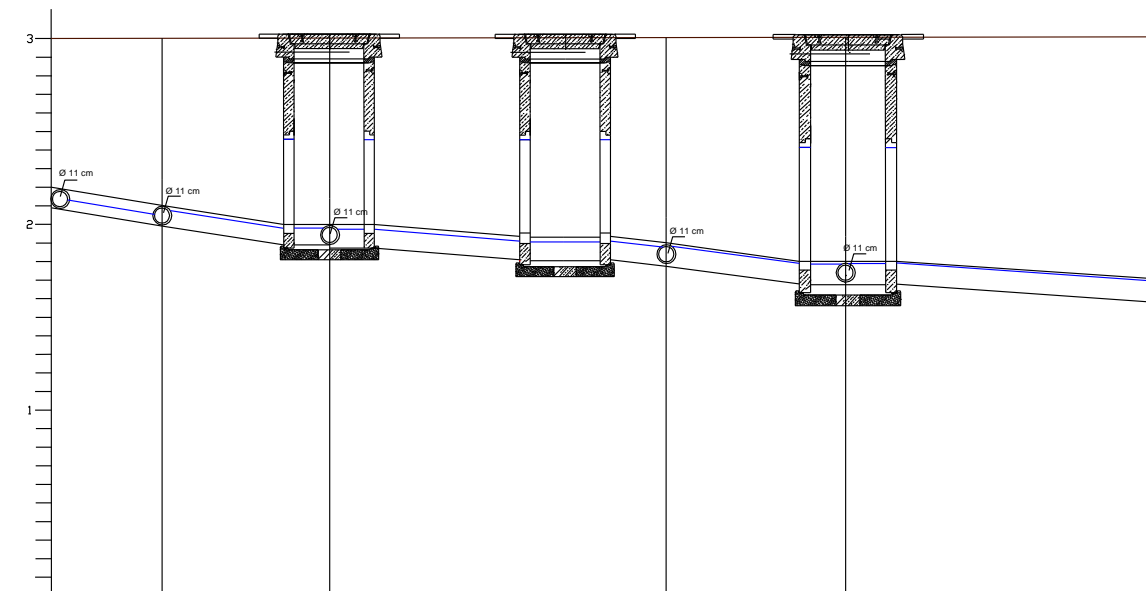
Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl.SE., M.Sc.
19590811 198701 1 001

SKALA GAMBAR

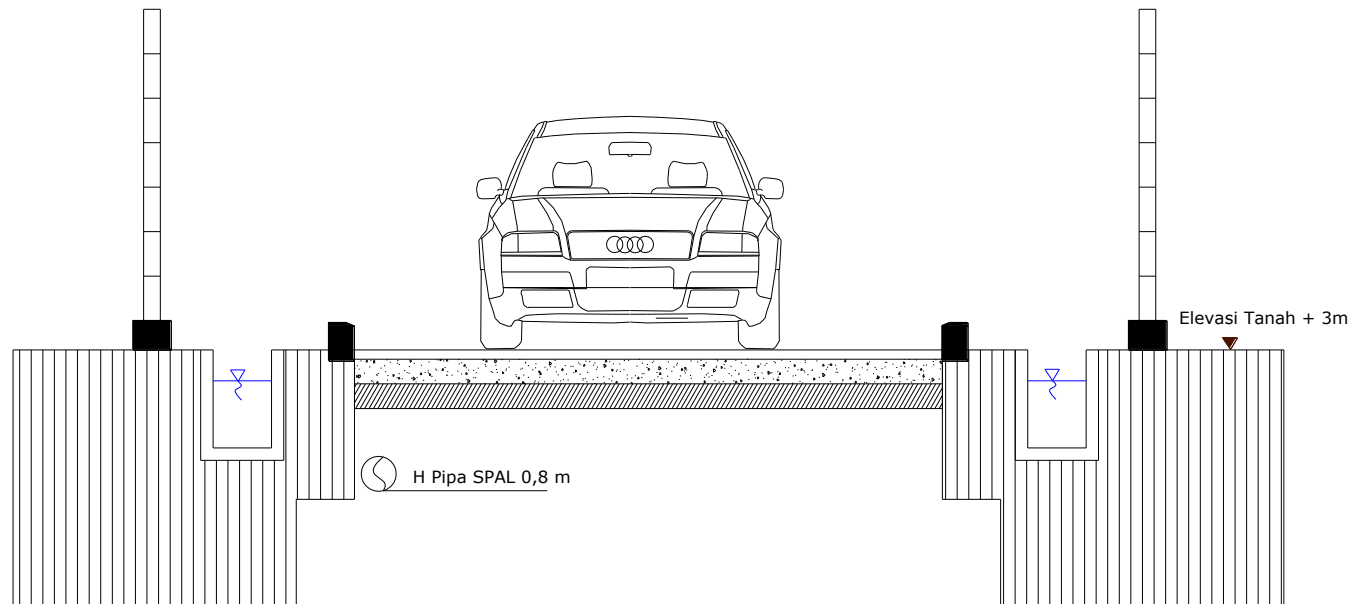
Skala Vertikal 1 : 27
Skala Horizontal 1 : 1260

NOMOR GAMBAR

2



Saluran	A	B	D	E	F	IPAL
Panjang Pipa (m)	28 m	42 m	85 m	44,6 m	80,4 m	
Elevasi Tanah (m)	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m
Elevasi Atas Pipa (m)	2,19 m	2,14 m	2,04 m	1,94 m	1,89 m	1,79 m
Elevasi Dasar Pipa (m)	2,08 m	2,03 m	1,93 m	1,80 m	1,75 m	1,65 m
Slope Medan (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Slope Pipa (m)	0,0036	0,0024	0,0012	0,0022	0,0012	



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah
(IPAL) Komunal Air Limbah Botik dari Industri
Kecil Menengah (IKM) di Kota Pekalongan

JUDUL GAMBAR

Detail Jalan

LEGENDA

 : Beton
 : Tanah

NAMA MAHASISWA

VELDA RIFKA ALMIRA
03211440000033

Dosen Pembimbing

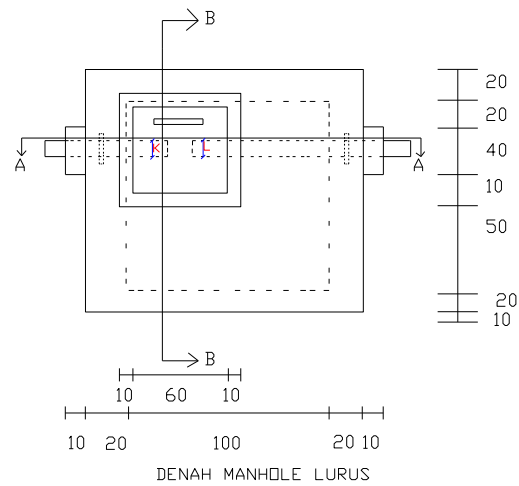
Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl.SE., M.Sc.
19590811 198701 1 001

SKALA GAMBAR

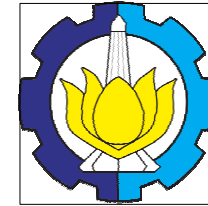
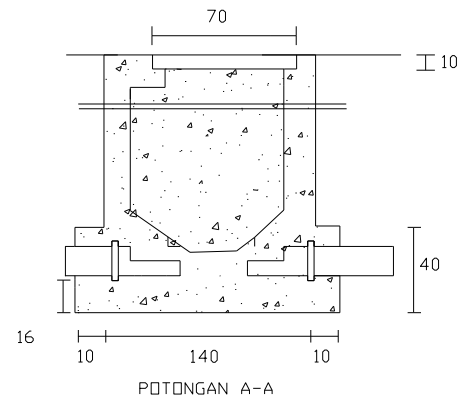
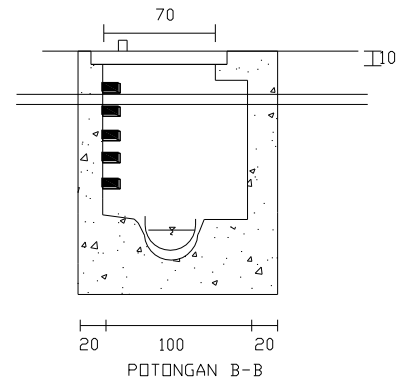
TANPA SKALA

NOMOR GAMBAR

3



Keterangan :
 K : Diameter pipa 1
 L : Diameter pipa 2



Departemen Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2018

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah
 (IPAL) Komunal Air Limbah Batik dari Industri
 Kecil Menengah (IKM) di Kota Pekalongan

JUDUL GAMBAR

Tipikal Manhole Lurus

LEGENDA

NAMA MAHASISWA

VELDA RIFKA ALMIRA
 0321144000033

DOSEN PEMBIMBING

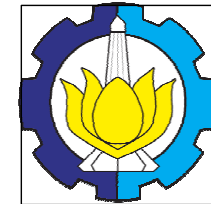
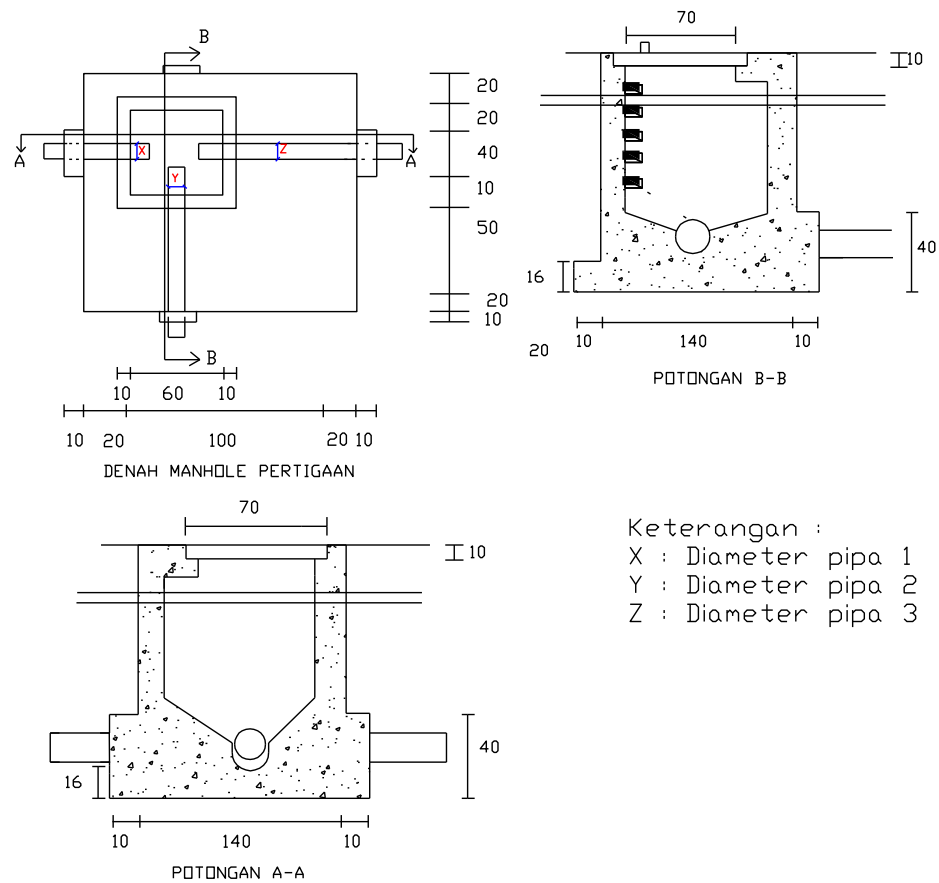
Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl.SE., M.Sc.
 19590811 198701 1 001

SKALA GAMBAR

Tanpa Skala

NOMOR GAMBAR

4



Departemen Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2018

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah
 (IPAL) Komunal Air Limbah Batik dari Industri
 Kecil Menengah (IKM) di Kota Pekalongan

JUDUL GAMBAR

Tipikal Manhole Pertigaan

LEGENDA

NAMA MAHASISWA

VELDA RIFKA ALMIRA
 0321144000033

DASEN PEMBIMBING

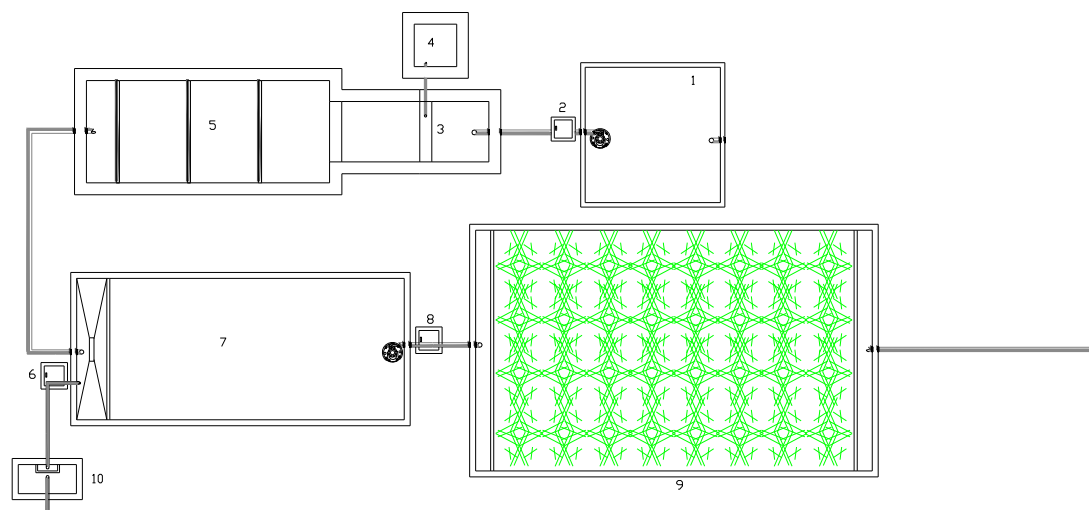
Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl.SE., M.Sc.
 19590811 198701 1 001

SKALA GAMBAR

Tanpa Skala

NOMOR GAMBAR

5



Keterangan :
 1. Holding Tank
 2. Ruang Pompa
 3. Bak Pengaduk Cepat
 4. Bak Pembuluh
 5. Bak Pengaduk Lambat
 6. Ruang Pompa Lumpur
 7. Sedimentasi 2
 8. Ruang Pompa
 9. Wetland
 10. Sludge Drying Bed



Departemen Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2018

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah
 (IPAL) Komunal Air Limbah Batik dari Industri
 Kecil Menengah (IKM) di Kota Pekalongan

JUDUL GAMBAR

Layout IPAL

LEGENDA

NAMA MAHASISWA
 VELDA RIFKA ALMIRA
 03211440000033

DOSEN PEMBIMBING
 Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl.SE., M.Sc.
 19590811 198701 1 001

SKALA GAMBAR
 1 : 200

NOMOR GAMBAR

6



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah
(IPAL) Komunal Air Limbah Batik dari Industri
Kecil Menengah (IKM) di Kota Pekalongan

JUDUL GAMBAR

Denah dan Potongan A-A
Holding Tank

LEGENDA

- : Beton
- : Batu Kali
- : Urugan Pasir
- : Urugan Tanah Kenkali

NAMA MAHASISWA

VELDA RIFKA ALMIRA
0321144000033

DOSEN PEMBIMBING

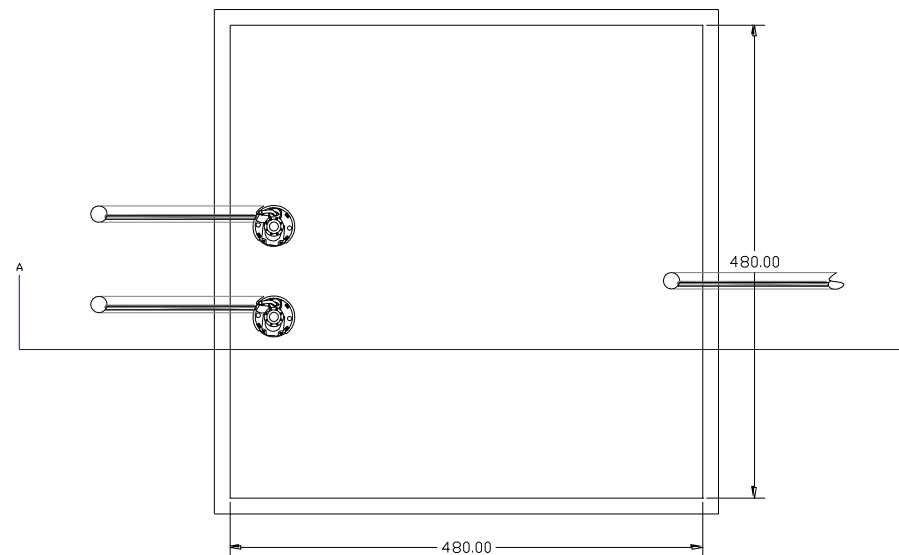
Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl.SE., M.Sc.
19590811 198701 1 001

SKALA GAMBAR

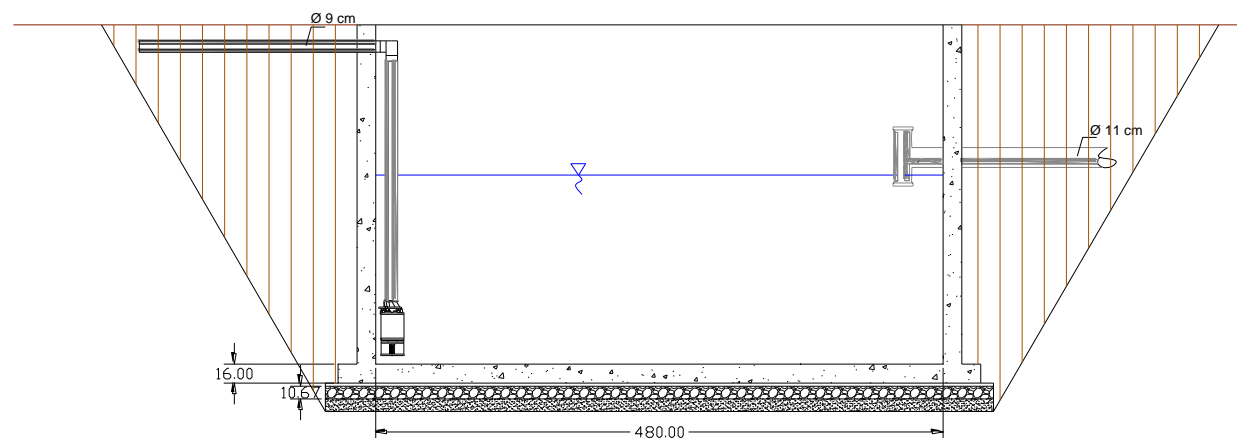
1 : 50

NOMOR GAMBAR

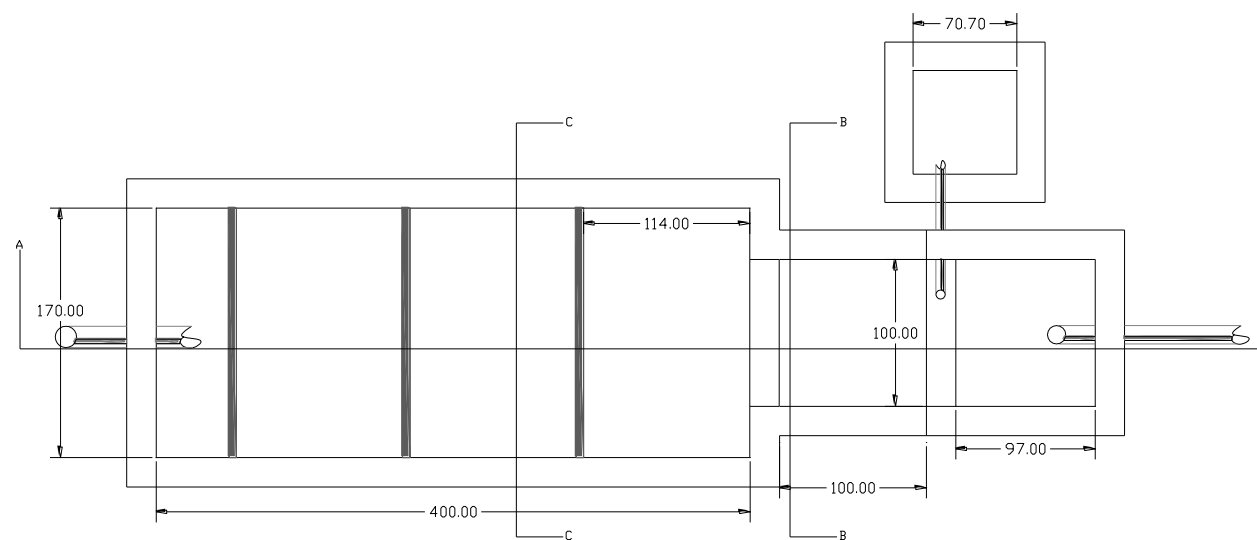
7



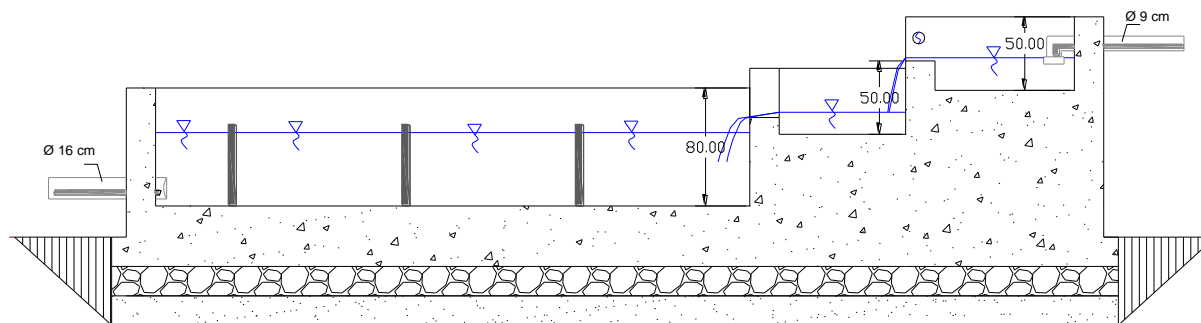
SKALA DENAH
1 : 60



SKALA POTONGAN A-A
1 : 50



SKALA DENAH
1 : 40



SKALA POTONGAN A-A
1 : 40



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah
(IPAL) Komunal Air Limbah Batik dari Industri
Kecil Menengah (IKM) di Kota Pekalongan

JUDUL GAMBAR

Denah dan Potongan A-A
Bak Koagulasi - Flokulasi

LEGENDA

- : Beton
- : Batu Kali
- : Urugan Pasir
- : Urugan Tanah Kembali

NAMA MAHASISWA

VELDA RIFKA ALMIRA
0321144000033

DOSEN PEMBIMBING

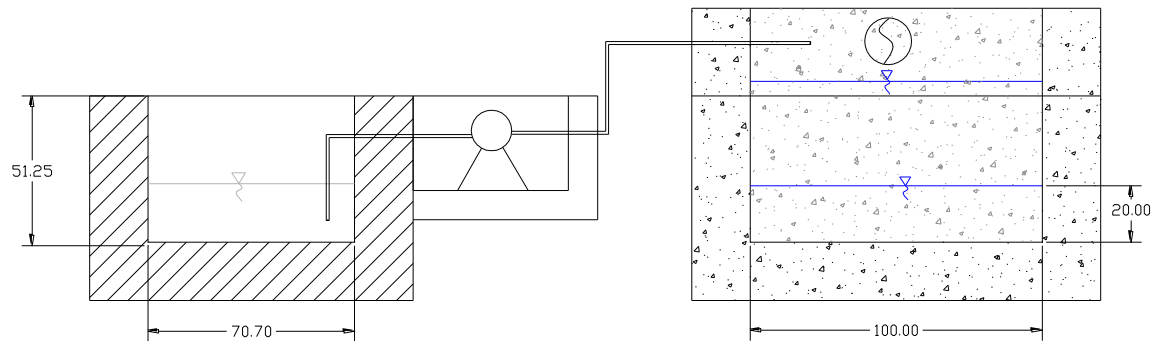
Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl.SE., M.Sc.
19590811 198701 1 001

SKALA GAMBAR

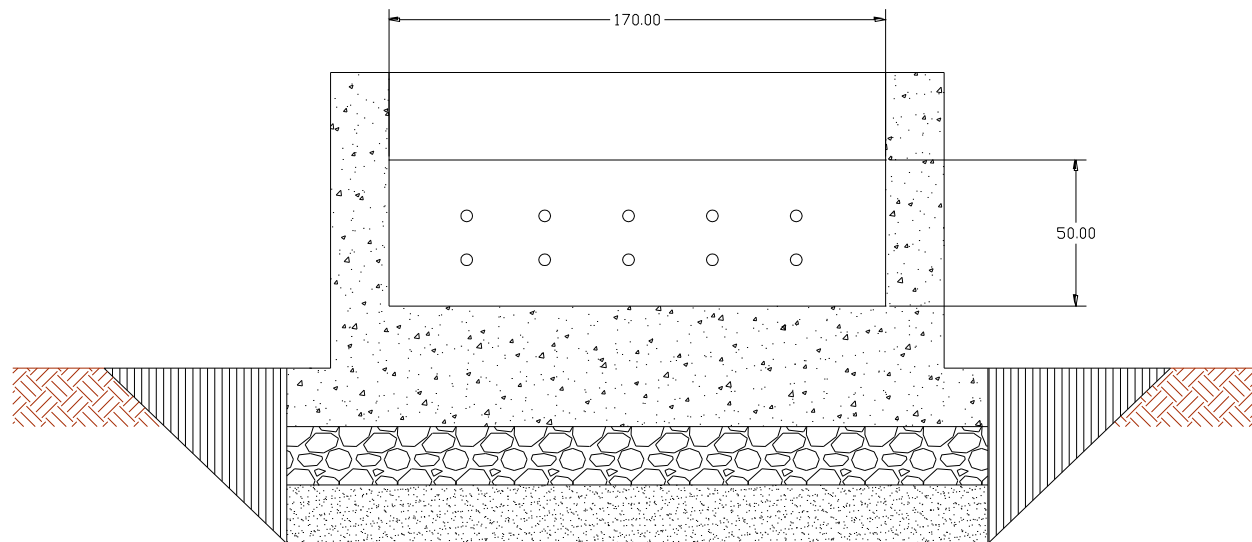
1 : 40

NOMOR GAMBAR

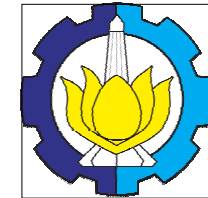
8



SKALA POTONGAN B-B
1 : 20



SKALA POTONGAN C-C
1 : 20



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah
(IPAL) Komunal Air Limbah Batik dari Industri
Kecil Menengah (IKM) di Kota Pekalongan

JUDUL GAMBAR

Potongan B-B dan C-C
Bak Koagulasi - Flokulasi

LEGENDA

- : Beton
- : Batu Kali
- : Urugan Pasir
- : Urugan Tanah Kembali

NAMA MAHASISWA

VELDA RIFKA ALMIRA
0321144000033

DOSEN PEMBIMBING

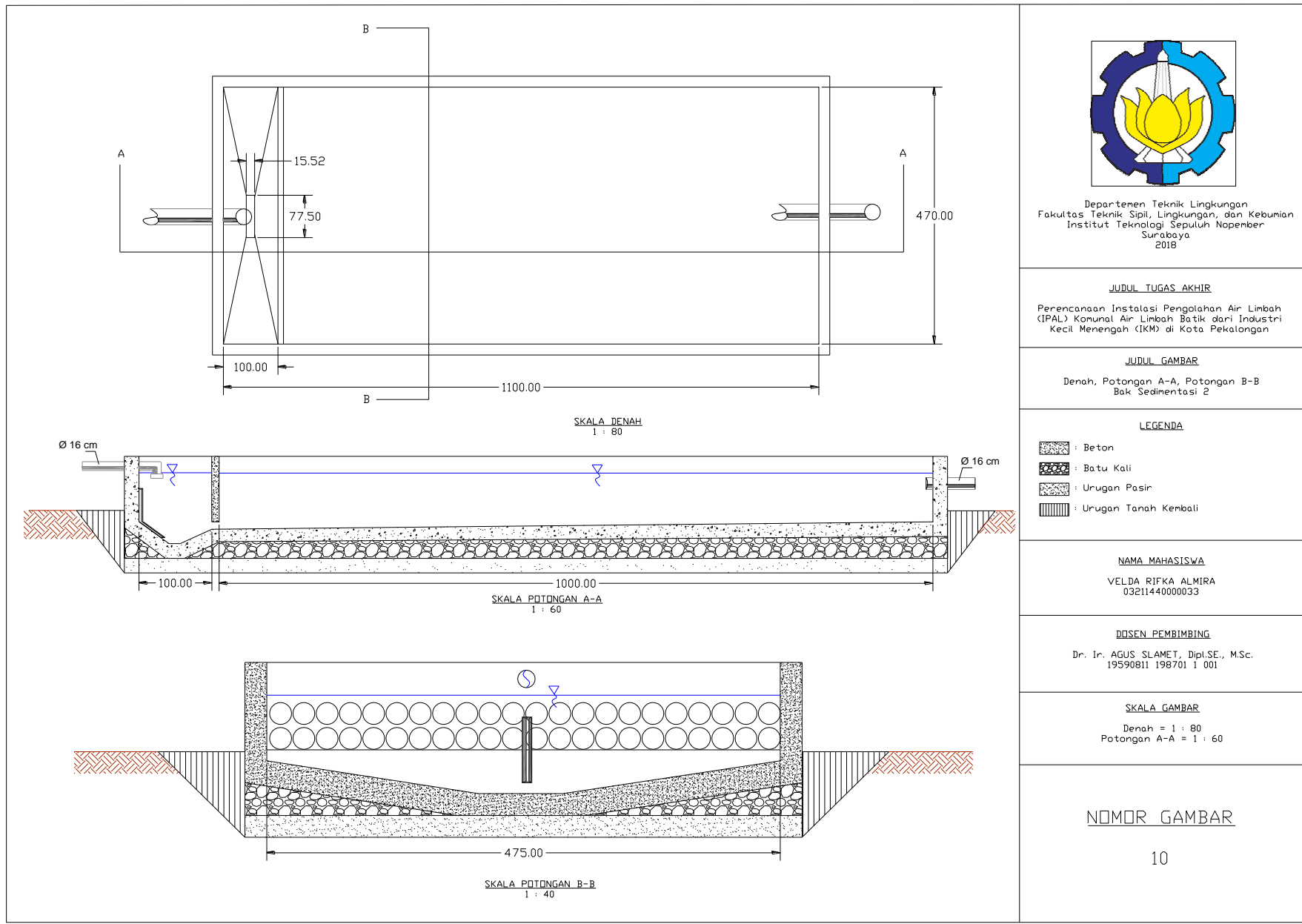
Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl.SE., M.Sc.
19590811 198701 1 001

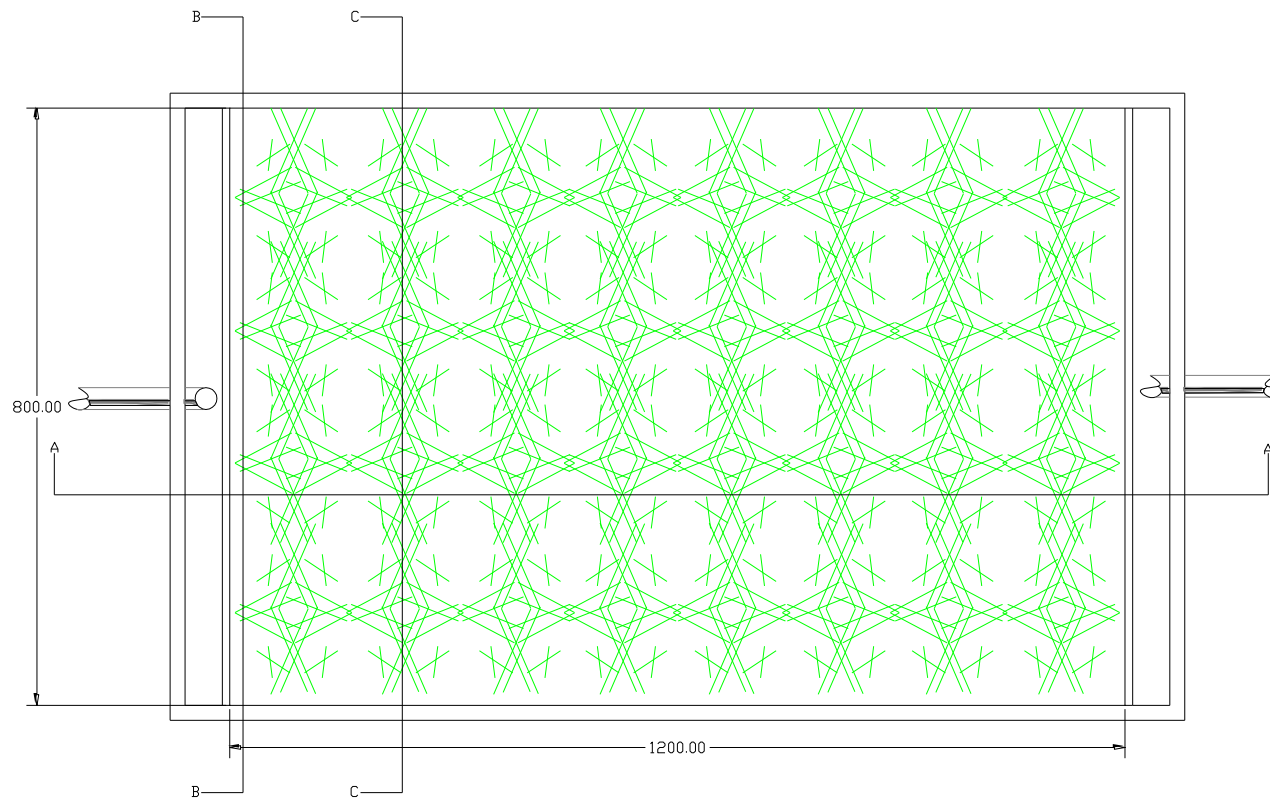
SKALA GAMBAR

1 : 20

NOMOR GAMBAR

9





Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah
(IPAL) Komunal Air Limbah Batik dari Industri
Kecil Menengah (IKM) di Kota Pekalongan

JUDUL GAMBAR

Denah Wetland

LEGENDA

- : Beton
- : Batu Kali
- : Urugan Pasir
- : Urugan Tanah Kembali

NAMA MAHASISWA

VELDA RIFKA ALMIRA
03211440000033

DOSEN PEMBIMBING

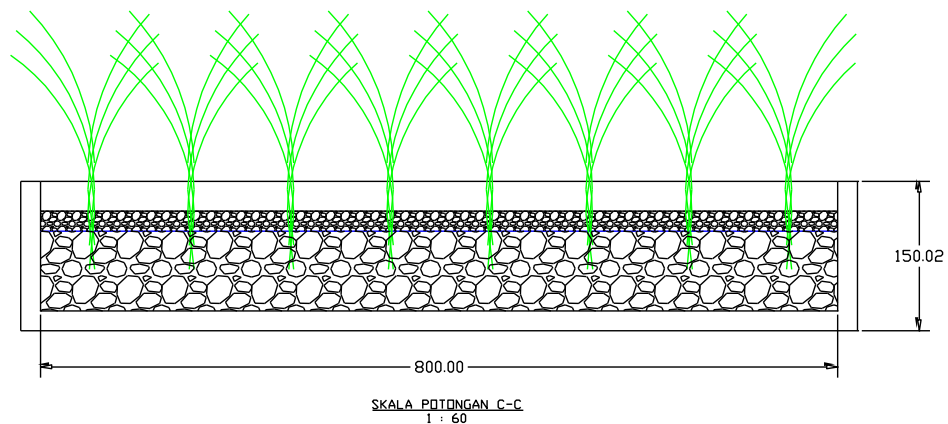
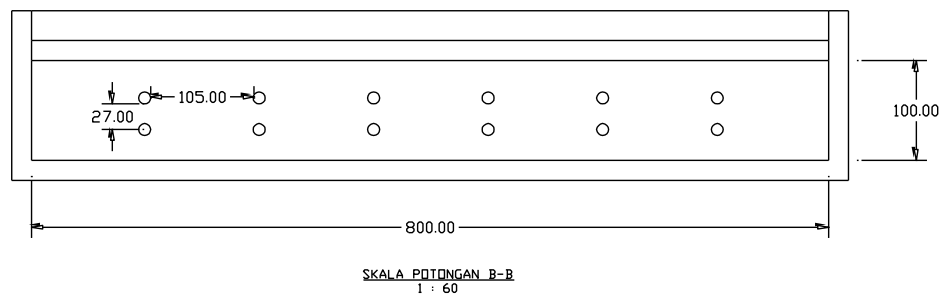
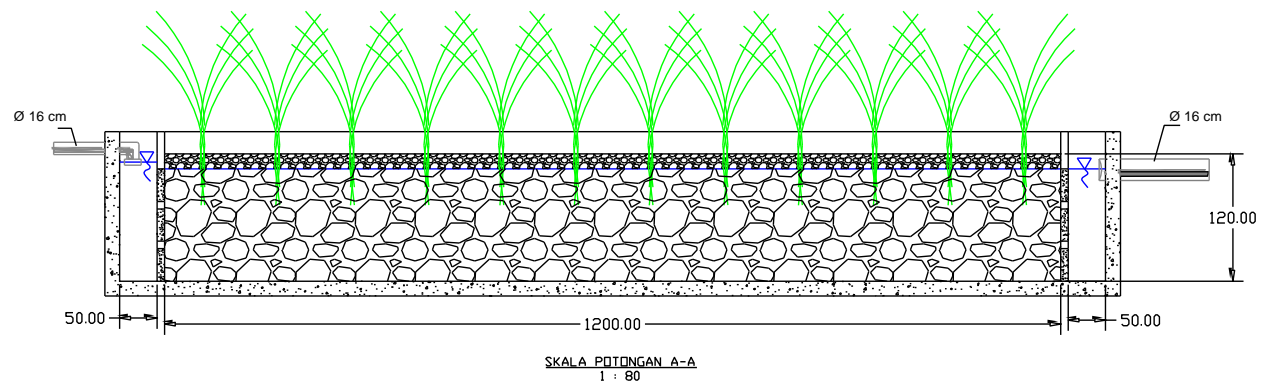
Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl.SE., M.Sc.
19590811 198701 1 001

SKALA GAMBAR

1 : 80

NOMOR GAMBAR

11



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebunian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah
(IPAL) Komunal Air Limbah Batik dari Industri
Kecil Menengah (IKM) di Kota Pekalongan

JUDUL GAMBAR

Potongan A-A, Potongan B-B, Potongan C-C
Wetland

LEGENDA

- : Beton
- : Batu Kali
- : Urugan Pasir
- : Urugan Tanah Kembali

NAMA MAHASISWA

VELDA RIFKA ALMIRA
0321144000033

DOSEN PEMBIMBING

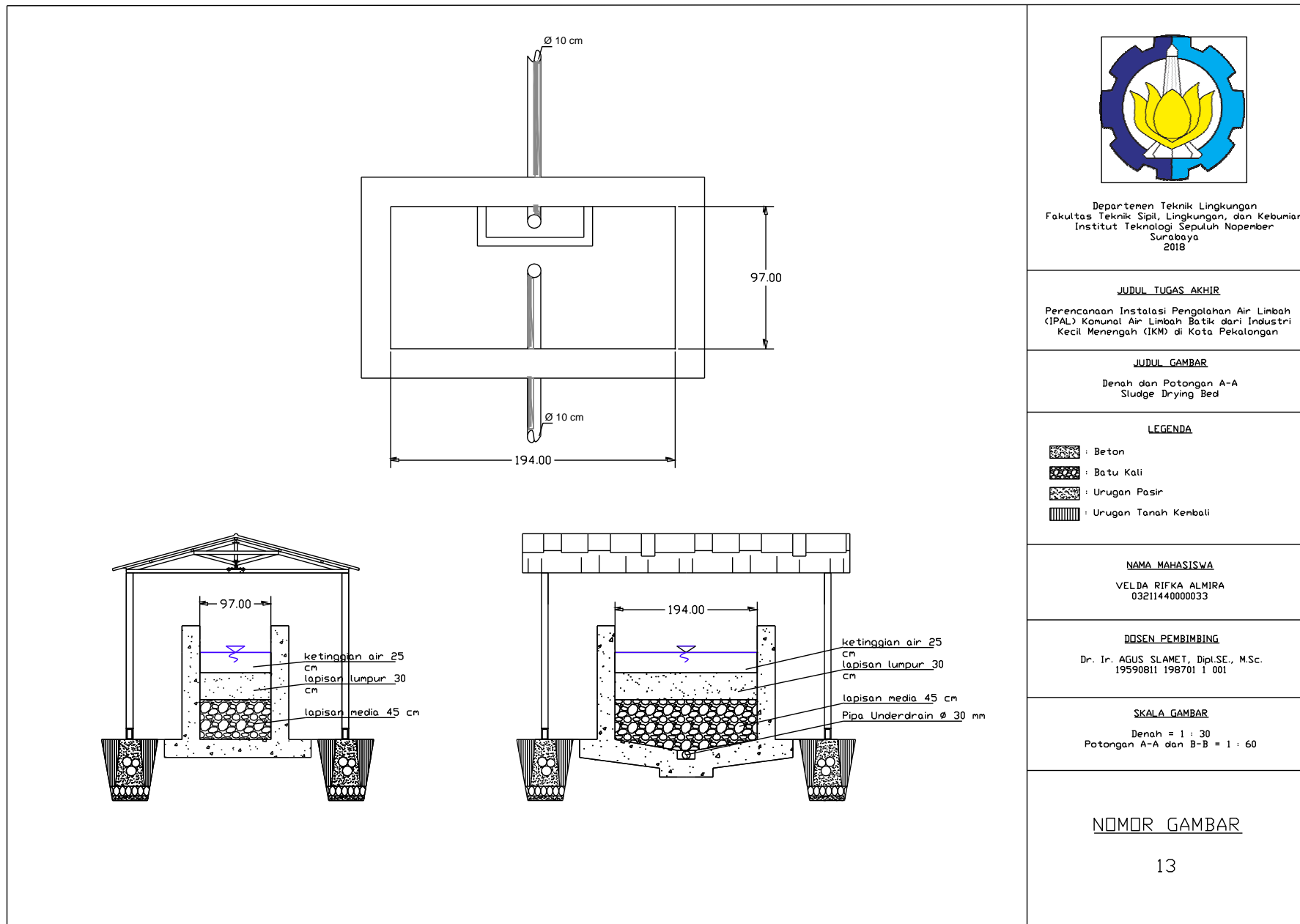
Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl.SE., M.Sc.
19590811 198701 1 001

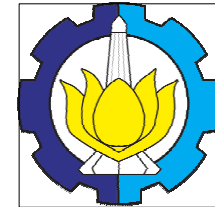
SKALA GAMBAR

Potongan A-A = 1 : 80
Potongan B-B = 1 : 60
Potongan C-C = 1 : 60

NOMOR GAMBAR

12





Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah
(IPAL) Komunal Air Limbah Batik dari Industri
Kecil Menengah (IKM) di Kota Pekalongan

JUDUL GAMBAR

Profil Hidrolis IPAL

LEGENDA

NAMA MAHASISWA

VELDA RIFKA ALMIRA
03211440000033

DOSEN PEMBIMBING

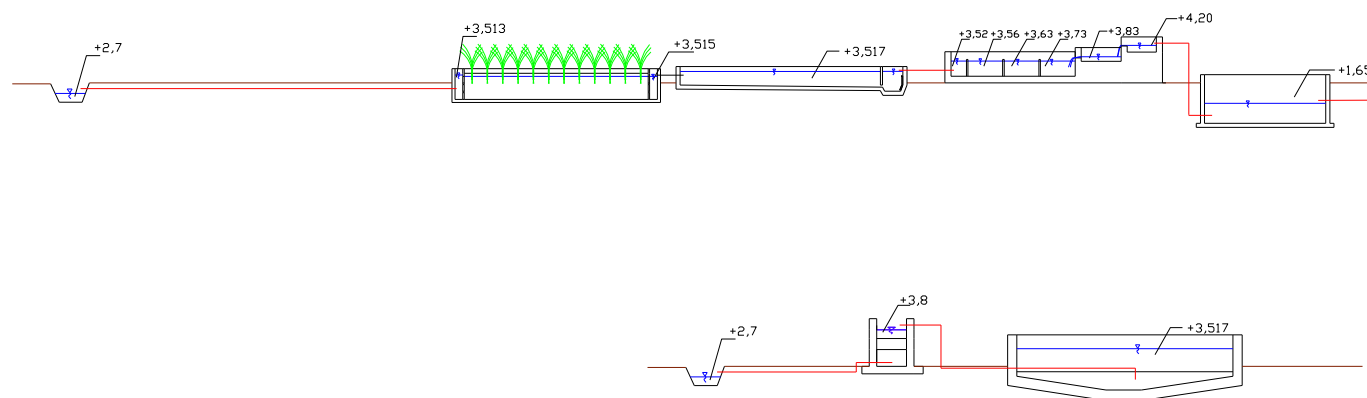
Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl.SE., M.Sc.
19590811 198701 1 001

SKALA GAMBAR

Tanpa Skala

NOMOR GAMBAR

14



LAMPIRAN E

PENYESUAIAN TARIF LISTRIK



PT PLN (Persero)

Jalan Trunojoyo Blok M I/135 Kebayoran Baru – Jakarta 12160

Telepon : (021) 7261875, 7261122, 7262234

Facsimile : (021) 7221330

Website : www.pln.co.id

(021) 7251234, 7250550

**PENETAPAN
PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)**

BULAN JULI - SEPTEMBER 2017

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	R-1/TR	900 VA-RTM	*)	1.352,00	1.352,00
2.	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.467,28	1.467,28
3.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.467,28	1.467,28
4.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.467,28	1.467,28
5.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.467,28	1.467,28
6.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
7.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**))	Blok WBP = $K \times 1.035,78$ Blok LWBP = $1.035,78$ kVArh = $1.114,74$ ****)	-
8.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**))	Blok WBP = $K \times 1.035,78$ Blok LWBP = $1.035,78$ kVArh = $1.114,74$ ****)	-
9.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = $996,74$ kVArh = $996,74$ ****)	-
10.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
11.	P-2/TM	di atas 200 kVA	**))	Blok WBP = $K \times 1.035,78$ Blok LWBP = $1.035,78$ kVArh = $1.114,74$ ****)	-
12.	P-3/TR		*)	1.467,28	1.467,28
13.	L/TR, TM, TT		-	1.644,52	-

Catatan :

*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):

RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.

**) Diterapkan Rekening Minimum (RM):

RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian LWBP.

Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):

RM3 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.

Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

****) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).

K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.

LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

LAMPIRAN F

POMPA

Data Sheet

Series B

Electronic Metering Pumps

Configuration

Model **B92** **1** - **392SI**

Control & Output Code

Manual Control

Speed (stroking frequency) and stroke length manually adjustable

B11 --- 1.6 GPH	(6.1 l/h) --- 150 psi (10.30 Bar)
B12 --- 2.5 GPH	(9.5 l/h) --- 100 psi (6.90 Bar)
B13 --- 4.5 GPH	(17.0 l/h) --- 50 psi (3.50 Bar)
B14 --- 7.0 GPH	(26.5 l/h) --- 30 psi (2.07 Bar)

Instrument Responsive / Manual Control

Manual adjustment features of Series B1 plus switch conversion to external control for automatic systems

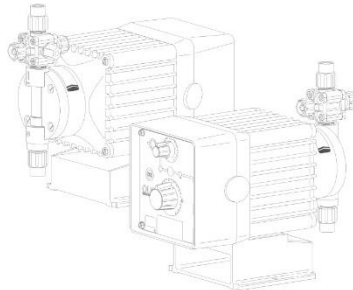
B71 --- 1.6 GPH	(6.1 l/h) --- 150 psi (10.30 Bar)
B72 --- 2.5 GPH	(9.5 l/h) --- 100 psi (6.90 Bar)
B73 --- 4.5 GPH	(17.0 l/h) --- 50 psi (3.50 Bar)
B74 --- 7.0 GPH	(26.5 l/h) --- 30 psi (2.07 Bar)
B91 --- 1.6 GPH	(6.1 l/h) --- 150 psi (10.30 Bar)
B92 --- 2.5 GPH	(9.5 l/h) --- 100 psi (6.90 Bar)
B93 --- 4.5 GPH	(17.0 l/h) --- 50 psi (3.50 Bar)
B94 --- 7.0 GPH	(26.5 l/h) --- 30 psi (2.07 Bar)

Voltage Code

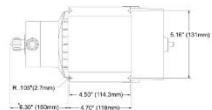
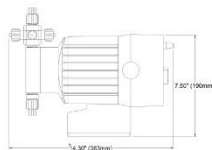
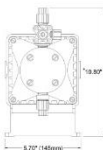
1 -----	120 VAC, US Plug
2 -----	240 VAC, US Plug
3 -----	220-240 VAC, DIN Plug
5 -----	240-250 VAC, UK Plug
6 -----	240-250 VAC, AUST/NZ Plug
7 -----	220-240 VAC, SWISS Plug

Liquid End

See next page for complete Liquid End specifications and selection.



Dimensions



*DIMENSIONS SHOWN ARE MAXIMUM FOR LARGEST LIQUID END AVAILABLE. THESE DIMENSIONS VARY DEPENDING ON THE LIQUID END SELECTED.

Specifications

Series	Strokes Per Minute (Adjustable) Min	Strokes Per Minute (Adjustable) Max	Stroke Length (Adjustable) Recommended Minimum	Average Input Power @ Max Speed	Shipping Weight
B11, B71, B91 B12, B72, B92 B13, B73, B93 B14, B74, B94	1	100	10%	29 watts	15 lbs (6.9 kg)

¹ Series B9 pumps may be programmed for strokes per hour for lower outputs.



8 Post Office Square
Acton, MA 01720 USA
TOLL FREE: (800) 564-1097
TEL: (978) 263-9800
FAX: (978) 264-9172
<http://www.lmipumps.com>

Replaces same of Rev. G 2/98
1417. H 4/02

Configuration Data & Materials of Construction

Drive Assembly	Liquid End No.	Size Code	Materials of Construction				Accessory	Tubing & Connections	
			Head & Fittings	Balls	Liquifram™	Check Valve		Discharge	Suction
B92 ■ - B91 ■ - B72 ■ - B71 ■ - B12 ■ - B11 ■ -	498S†	0.9	PVC / PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF / Polyprel®	4FV	PE	375" O.D.
	490S†	0.9	Acrylic / PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF / Polyprel®	4FV	PE	375" O.D.
	490Fl	0.9	Acrylic / PVDF	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF / Polyprel®	4FV	PE	375" O.D.
	398S†	0.9	PVC / PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF / Polyprel®	4FV	PE	375" O.D.
	393S†	0.9	PVDF / PVDF	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF / PTFE	4FV	PE	375" O.D.
	392S†	0.9	PVDF / PVDF	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF / Polyprel®	4FV	PE	375" O.D.
	85HV	0.9	Polypropylene	316 S.S.	Fluorofilm™	PTFE		PE 5" O.D.	Vinyl .938" O.D.
	86HV	0.9	Acrylic / PP	316 S.S.	Fluorofilm™	Hypalon®		PE 5" O.D.	Vinyl .938" O.D.
	89	0.9	UHMW PE	Ceramic	Hypalon®	Hypalon®		PE 5" O.D.	Vinyl .500" O.D.
	95S**	0.9	Polypropylene	Ceramic	Fluorofilm™	PTFE	4FV	PE	375" O.D.
B93 ■ - B73 ■ - B13 ■ -	297	0.9	316 S.S.	316 S.S.	Fluorofilm™	316 S.S.		Pipe 1/4" NPT M	
	468S†	1.8	PVC / PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF / Polyprel®	4FV	PE	375" O.D.
	460S†	1.8	Acrylic / PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVC / Polyprel®	4FV	PE	375" O.D.
	460Fl	1.8	Acrylic / PVDF	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF / Polyprel®	4FV	PE	375" O.D.
	368S†	1.8	PVC / PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVC / Polyprel®	4FV	PE	375" O.D.
	363S†	1.8	PVDF / PVDF	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF / PTFE	4FV	PE	375" O.D.
	362S†	1.8	PVDF / PVDF	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF / Polyprel®	4FV	PE	375" O.D.
	75HV	1.8	Polypropylene	316 S.S.	Fluorofilm™	PTFE		PE 5" O.D.	Vinyl .938" O.D.
	75S**	1.8	Polypropylene	Ceramic	Fluorofilm™	PTFE	4FV	PE	375" O.D.
	79HV	1.8	Acrylic / PP	316 S.S.	Fluorofilm™	Hypalon®		PE 5" O.D.	Vinyl .938" O.D.
B94 ■ - B74 ■ - B14 ■ -	79	1.8	UHMW PE	Ceramic	Hypalon®	Hypalon®		PE 5" O.D.	Vinyl .500" O.D.
	277	1.8	316 S.S.	316 S.S.	Fluorofilm™	316 S.S.		Pipe 1/4" NPT M	
	418S†	3.0	PVC / PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVC / Polyprel®	4FV	PE .5" O.D.	
	410S†	3.0	Acrylic / PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVC / Polyprel®	4FV	PE .5" O.D.	
	419†	3.0	Acrylic / PVDF	375 PTFE	Fluorofilm™	PVDF / Polyprel®	4FV	PE .5" O.D.	
	318S†	3.0	PVC / PVC	Ceramic	Fluorofilm™	PVC / Polyprel®	4FV	PE .5" O.D.	
	312S†	3.0	PVDF / PVDF	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF / Polyprel®	4FV	PE .5" O.D.	
	313S†	3.0	PVDF / PVDF	Ceramic	Fluorofilm™	PVDF / PTFE	4FV	PE .5" O.D.	
	15S**	3.0	Polypropylene	Ceramic	Fluorofilm™	PTFE	4FV	PE .5" O.D.	
	217	3.0	316 S.S.	316 S.S.	Fluorofilm™	316 S.S.		Pipe 1/4" NPT M	

■ See front page for voltage code specifications.

** These Liquid Ends are available without a 4FV.

† To specify 1/4" NPT male, change '†' to 'P'. To specify black, UV resistant tubing, change '†' to 'U'. To specify Bleed 4FV, change 'S' to 'B'. To specify 3FV, change 'S' to '†'.

3FV Indicates that the pump is equipped with an LMI Three Function Valve (pressure relief, priming aid, line drain).

4FV Indicates that the pump is equipped with an LMI Four Function Valve. This diaphragm type anti-siphon pressure relief valve is installed on the pump head. It provides anti-siphon protection and aids in priming, even under pressure.

Fluorofilm™ is a copolymer of PTFE and PFA.

Polyprel® is an elastomeric PTFE copolymer.

Polyprel is a registered trademark of Liquid Metrics Incorporated. Fluorofilm is a trademark of Liquid Metrics Incorporated. Hypalon is a registered trademark of E. I. du Pont de Nemours & Co., Inc.

Output Information

Series	Gallons per Hour*		Liters per Hour*		mL/cc per Minute*		mL/cc per Stroke		Maximum Injection Pressure
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
B11, B71, B91†	0.002	1.6	0.006	6.1	0.10	101	0.10	1.01	150psi (10.30 Bar)
B12, B72, B92†	0.003	2.5	0.009	9.5	0.16	158	0.16	1.58	100psi (6.90 Bar)
B13, B73, B93†	0.005	4.5	0.017	17.0	0.28	284	0.28	2.84	50psi (3.50 Bar)
B14, B74, B94†	0.007	7.0	0.027	26.5	0.44	442	0.44	4.42	30psi (2.07 Bar)

*Minimum output is based on one (1) stroke per minute and 10% stroke setting, minimum output can be reduced further in external mode.

†Series B9 pumps may be programmed for strokes per hour for lower outputs.

© 2002 LMI Milton Roy - All Rights Reserved


Printed in USA

Specifications subject to change without notice.



Company name:
Created by:
Phone:

Date: 6/24/2018

Position	Count	Description
	1	<div>SL1.20.A25.30.2.60J.C</div> <div></div> <div>Product photo could vary from the actual product</div> <div>Product No.: 99034394</div> <div><p>Non-self-priming, single-stage, centrifugal pump designed for handling wastewater, process water and unscreened raw sewage.</p><p>The pump is designed for intermittent and continuous operations in submerged installation. The revolutionary S-tube® impeller provides free spherical passage of solids up to 1 15/16 in and is suitable for wastewater with a dry matter content of up to 3 %.</p><p>A unique stainless-steel clamp assembling system enables quick and easy disassembly of the pump from the motor unit for service and inspection. No special tools are required. Pipework connection is via a ANSI flange.</p></div> <div><div>Controls:</div><div><div>Moisture sensor:</div><div>Water-in-oil sensor:</div></div><div><div>with moisture sensors</div><div>without water-in-oil sensor</div></div></div> <div><div>Liquid:</div><div><div>Pumped liquid:</div><div>Maximum liquid temperature:</div><div>Liquid temperature during operation:</div><div>Density:</div><div>Kinematic viscosity:</div></div><div><div>Water</div><div>104 °F</div><div>68 °F</div><div>62.4 lb/ft³</div><div>1 cSt</div></div></div> <div><div>Technical:</div><div><div>Actual calculated flow:</div><div>Resulting head of the pump:</div><div>Type of impeller:</div><div>Maximum particle size:</div><div>Primary shaft seal:</div><div>Secondary shaft seal:</div><div>Approvals on nameplate:</div><div>Curve tolerance:</div></div><div><div>14.2 l/s</div><div>32.51 ft</div><div>S-TUBE</div><div>1 15/16 in</div><div>SIC/SIC</div><div>CARBON/CERAMICS</div><div>CSA</div><div>ANSI/HI11.6:2012 3B2</div></div></div> <div><div>Materials:</div><div><div>Pump housing:</div><div>Impeller:</div><div>Motor:</div></div><div><div>EN-GJL-250</div><div>EN-GJL-250</div><div>EN-GJL-250</div></div></div> <div><div>Installation:</div><div><div>Maximum ambient temperature:</div><div>Flange standard:</div><div>Pump inlet:</div><div>Pump outlet:</div><div>Pressure stage:</div></div><div><div>104 °F</div><div>ANSI</div><div>65</div><div>65</div><div>PN 10</div></div></div>



Company name:
Created by:
Phone:

Date: 6/24/2018

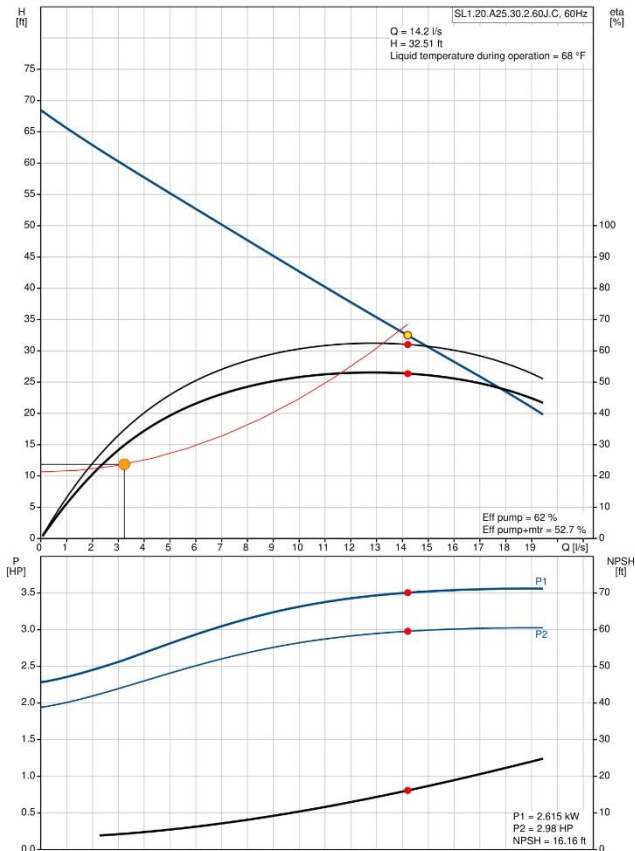
Position	Count	Description
		Maximum installation depth: 65.6 ft Frame range: B Electrical data: Power input - P1: 3 kW Rated power - P2: 3 HP Main frequency: 60 Hz Rated voltage: 3 x 208-230 V Voltage tolerance: +10/-10 % Max starts per. hour: 20 Rated current: 9.5-8.9 A Starting current: 68.3 A Cos phi - power factor: 0.89 Cos phi - p.f. at 3/4 load: 0.85 Cos phi - p.f. at 1/2 load: 0.78 Rated speed: 3481 rpm Motor efficiency at full load: 85.0 % Motor efficiency at 3/4 load: 85.8 % Motor efficiency at 1/2 load: 83.8 % Number of poles: 2 Start. method: direct-on-line Enclosure class (IEC 34-5): IP68 Insulation class (IEC 85): H Explosion proof: no Length of cable: 49 ft Cable type: SEOOW 600V Others: Net weight: 144 lb



Company name:
Created by:
Phone:

Date: 6/24/2018

99034394 SL1.20.A25.30.2.60J.C 60 Hz





Company name:

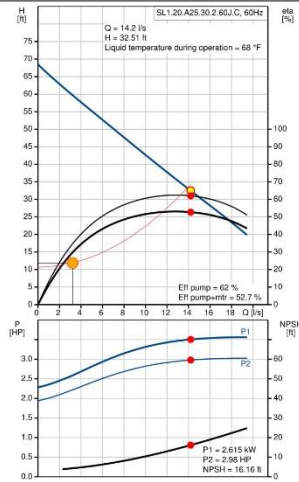
Created by:

Phone:

Date:

6/24/2018

Description	Value
General information:	
Product name:	SL1.20.A25.30.2.60J.C
Product No.:	99034394
EAN:	5712605497370
Technical:	
Actual calculated flow:	14.2 l/s
Max flow:	19.4 l/s
Resulting head of the pump:	32.51 ft
Head max:	68.57 ft
Type of impeller:	S-TUBE
Maximum particle size:	1 15/16 in
Primary shaft seal:	SIC/SIC
Secondary shaft seal:	CARBON/CERAMICS
Approvals on nameplate:	CSA
Curve tolerance:	ANSI/HI11.6:2012 3B2
Cooling jacket:	without cooling jacket
Materials:	
Pump housing:	EN-GJL-250
Impeller:	EN-GJL-250
Motor:	EN-GJL-250
Installation:	
Maximum ambient temperature:	104 °F
Flange standard:	ANSI
Pump inlet:	65
Pump outlet:	65
Pressure stage:	PN 10
Maximum installation depth:	65.6 ft
Inst dry/wet:	SUBMERGED
Installation:	Vertical
Frame range:	B
Liquid:	
Pumped liquid:	Water
Maximum liquid temperature:	104 °F
Liquid temperature during operation:	68 °F
Density:	62.4 lb/ft³
Kinematic viscosity:	1 cSt
Electrical data:	
Power input - P1:	3 kW
Rated power - P2:	3 HP
Main frequency:	60 Hz
Rated voltage:	3 x 208-230 V
Voltage tolerance:	+10/-10 %
Max starts per. hour:	20
Rated current:	9.5-9.9 A
Starting current:	68.3 A
Cos phi - power factor:	0.89
Cos phi - p.f. at 3/4 load:	0.85
Cos phi - p.f. at 1/2 load:	0.78
Rated speed:	3481 rpm
Motor efficiency at full load:	85.0 %
Motor efficiency at 3/4 load:	85.8 %
Motor efficiency at 1/2 load:	83.8 %
Number of poles:	2
Start. method:	direct-on-line
Enclosure class (IEC 34-5):	IP68
Insulation class (IEC 85):	H
Explosion proof:	no
Motor protection:	THERMAL SWITCH



BERITA ACARA



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FTLK-ITS
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111 Telp: 031-5946886, Fax: 031-5926387

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2017/2018

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 10-Jun-18

Pukul : 10.00 - 12.00 WIB

Lokasi : TL-101

Judul : PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) KOMUNAL AIR LIMBAH BATIK DARI INDUSTRI KECIL MENENGAH DI KOTA PEKALONGAN

Nilai TOEFL 520

Nama : VELDA RIFKA ALMIRA

NRP. : 03211440000033

Topik : Perencanaan

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl SE., M.Sc.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FTLK-ITS
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111 Telp: 031-5948586, Fax: 031-5928367

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2017/2018

Kode/SKS : RE141581 (06/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 10 Juni 2018
Pukul : 10.00 - 12.00 WIB
Lokasi : TL-101
Judul : PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) KOMUNAL AIR LIMBAH BATIK DARI INDUSTRI KECIL MENENGAH DI KOTA PEKALONGAN
Nama : VELDA RIFKA ALMIRA
NRP. : 03211440000033
Topik : Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Pemanfaatan lumpur
2.	Saran penelitian
3.	Teori wetland ditambah

[Signature] 19/6 2018

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretaris Program Sarjana

Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji : ALFAN PURNOMO, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing : Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl. SE., M.Sc.

[Signature]
[Signature]



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FTLK-ITS
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928367

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2017/2018

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 10 Juni 2018

Pukul : 10.00 - 12.00 WIB

Lokasi : TL-101

Judul : PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) KOMUNAL AIR LIMBAH BATIK DARI
INDUSTRI KECIL MENENGAH DI KOTA PEKALONGAN

Nama : VELDA RIFKA ALMIRA

NRP. : 03211440000033

Topik : Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1/48	Tahapan perencanaan instalasi?
2.	Mekanisme pengolahan limbah?
3.	Salah satu teknologi pengolahan? sebutkan?
4	Absorben limbah

Handwritten notes on the right side of the table:

- From question 3, arrows point to: "Natural", "Mekanis", and "Thermal".
- From "Natural", an arrow points to "GAS".
- From "Mekanis", an arrow points to "bertan".
- From "Thermal", an arrow points to "Filter".

Handwritten signature/initials on the left side of the table: "2/7/18"

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji

Dr. Eng. ARIE DIPAREZA SYAFEEI, S.T., M.PM.

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. AGUS SLAMET, Dipl. SE., M.Sc.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FTLK-ITS
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5945555, Fax: 031-5928367

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2017/2018

Kode/SK6 : RE141581 (06/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal Selasa, 10 Juni 2018

Pukul 10.00 - 12.00 WIB

Lokasi TL-101

Judul PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) KOMUNAL AIR LIMBAH BATIK DARI INDUSTRI KECIL MENENGAH DI KOTA PEKALONGAN

Nama VELDA RIFKA ALMIRA

NRP. 03211440000033

Topik Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
	<ul style="list-style-type: none">- jelaskan apa yg dimaksud BOD dan COD.- jelaskan sistem pengolahan air limbah.- Sistem Pengolahan Air Limbah.- Proses Adsorpsi dan Absorpsi.- Holding tank fungsi dan mekanisme kerja bagaimana?- komponen lainnya? *- Bagaimana prinsip kerja Kerangka Aktif dan bagaimana reaktornya?- Buat analisis mengenai pengolahan.- Inhibitor.

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistansi kepada Dosen Penguji

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Dr. Ir. RACHMAT BOEDISANTOSO, M.T.

Dosen Pembimbing Dr. Ir. AGUS SLAMET Dpt SE., M.Sc.



ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : VELDA RIFKA ALMIRA
NRP : 03211440000033
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) ~~ASR~~ KAWAYAN
LIMBAH BATIK

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	15/2/2018	Membahas mengenai pengamatan terhadap pengolahan fisik → disimpulkan tidak efektif adanya pengolahan fisik di awal, karena hasil pengamatan menunjukkan tidak endapan mengendap atau pun melayang.	As-
2.	5/3/2018	Membahas mengenai dosis yang paling sesuai; jenis koagulan dipilih; berdasarkan hasil analisa laboratorium serta pengolahan lanjut yang dapat diterapkan → dapat dilakukan pengolahan biologis karena rasio BOD ₅ /COD $\geq 0,5$	As-
3.	16/3/2018	Membahas mengenai perhitungan SPAL → dapat didesain dengan penetapan kecepatan terlebih dahulu, baru di kerjakan slope ditentukan.	As
4.	22/3/2018	Hitung SPAL → tidak terdapat faktor min dan max; kecepatan $\pm 0,3 \text{ m/s}$; Hitung baru eksalvasi → dihitung berdasar jam pemakaian dan waktu operasi IPAL	As-
5.	11/4/2018	Penataan tabel hasil digabung satu kolom dengan hasil perhitungan; koreksi hasil hitungan dan gambar diperbaiki.	As-
6.	17/4/2018	Pengurasan → dibuat 1 hari; pengurasan dapat dilakukan 80% hari; debit per hari berkurang dengan adanya pengurasan. Pada mass balance diuraikan sesuai dengan beban keluar - masuk yang ada, jika ada penambahan koagulan, dituliskan dalam mass - balance.	As-
7.	24/4/2018	Analisa profil hidroliks dan layout IPAL, serta penataan bangunan IPAL	As

Surabaya,
Dosen Pembimbing



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : NELDA RIFKA ALMIRA
NRP : 0321144 0000033
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN INSTALASI PENGALIHAN AIR LIMBAH

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
8	4/6/2018	Konsentrasi air limbah yang masuk tidak stabil (maksimum) sehingga pada penerapannya tidak dapat sesuai sepenuhnya dengan uji laboratorium.	

Surabaya,
Dosen Pembimbing



ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

FORM FTA-05

FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama : Velda Rifika Almira
NRP : 05211440000033
Judul Tugas Akhir : Perencanaan IPAL Komunal Air Limbah Baku dari UKM di Kota Krakatonan

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Pemenuhan lumpur	Lumpur memang tidak ditunjukkan suatu unit pengolah lanjutan, dan akan dimasukkan ke dalam saran untuk penelitian di masa depan.
2.	Saran penelitian	Telah dilengkapi pada halaman
3.	Teori wetland	Telah dilengkapi pada halaman 13-22
4.	Gambar pada tahapan pemenuhan tidak jelas	Telah dilengkapi pada halaman 14-15 54
5.	Teori mengenai mekanisme koagulasi flokulasi	Telah dilengkapi pada halaman 28-32
6.	Teori mengenai mekanisme sludge dewatering	Telah dilengkapi pada halaman 36
7.	Mekanisme removal polutan pada wetland (Adsorpsi & Adsorpsi yang terjadi)	Telah dilengkapi pada halaman 13-22
8.	Penjelasan mengenai BOD COO	Telah dijelaskan 1
9.	Teori mengenai SPAL	Telah dilengkapi pada halaman 37-40
10.	Fungsi dan mekanisme holding time	Berfungsi untuk menyalurkan air limbah menuju unit proses pengolahan air limbah, tidak terdapat pengendapan dan penguraian lumpur pada holding time
11.		

Dosen Pembimbing,

Mahasiswa Ybs.,

VELDA RIFKA ALMIRA

BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Yogyakarta, pada tanggal 11 April 1997. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Muhammadiyah 02 Bendan, SMP Negeri 2 Pekalongan, dan SMA Negeri 1 Pekalongan. Setelah lulus dari pendidikan SMA, penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di departemen Teknik Lingkungan ITS, terdaftar dengan NRP 03211440000033. Penulis merupakan *freelance* penerjemah bahasa (inggris – indonesia) serta pengajar bimbingan les untuk siswa SMP dan SMA. Penulis juga pernah aktif di organisasi luar kampus, yaitu sebagai anggota dari Ikatan Mahasiswa Muhammadiyah pada tahun 2016/2017. Penulis juga pernah aktif di beberapa kegiatan kampus dengan menjadi panitia dan pernah mengikuti beberapa pelatihan. Penulis dapat dihubungi melalui surel di veldarifkaalmira@gmail.com